

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Srovnání radionavigace
s prostorovou navigací

Comparison of Traditional Navigation
with Free Route Airspace

Student:

Michal Menšík

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Kontriková

Zadání bakalářské práce

Student:

Michal Menšík

Studijní program:

B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor:

3708R037 Technologie provozu letecké techniky

Téma:

Srovnání radionavigace s prostorovou navigací
Comparison of Traditional Navigation with Free Route Airspace

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Porovnat radionavigaci s prostorovou navigací z pohledu změn v problematice plánování letů, rozdílných časů letů, spotřeby paliva a z nich vyplývajícího dopadu na ekonomiku a ekologii.

Osnova práce:

1. Úvod – motivace k řešení.
2. Základní terminologie vztahující se k tématu práce.
3. Vývoj principů navigace.
4. Problematika plánování letu s využitím prostorové navigace.
5. Přehled o aktuálním využívání prostorové navigace ve světě.
6. Kvantifikace ekonomických a ekologických přínosů letů využívajících prostorovou navigaci.
7. Zhodnocení podmínek pro zavádění prostorové navigace v ČR.
8. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

GREWAL, Mohinder S., WEILL, Randolph Lawrence a ANDREWS P. Angus. Global positioning systems, inertial navigation, and integration. 2nd ed. Hoboken: Wiley, c2007. ISBN 978-0-470-04190-1.
Flying RNAV (GNSS) Approaches in Private and General Aviation Aircraft, Published by the Civil Aviation Authority, 2014. Dostupné z: www.caa.co.uk.
Letecký předpis L2 – pravidla létání, případně. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Kontriková**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Já, Michal Menšík prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Olomouci dne 16.5.2020



.....

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užit tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užit toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Olomouci dne 16.5.2020



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Michal Menšík

Adresa trvalého pobytu autora práce: Fischerova 10, Olomouc, 77900

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MENŠÍK, M. *Srovnání radionavigace s prostorovou navigací: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2020, 85s. Vedoucí práce: Ing. Lenka Kontriková.

Bakalářská práce se věnuje problematice prostorové navigace s využitím prostoru volných tratí. Na začátku jsou popsány základy letecké navigace a navigační zařízení. Dále se práce zabývá obecnou problematikou prostorové navigace a jejím aktuálním využitím ve světě. Zbývající část je zaměřena na ekonomické a ekologické přínosy letů v prostoru volných tratí a zhodnocení podmínek pro zavedení tohoto prostoru v České republice.

Klíčová slova: prostor volných tratí, prostorová navigace, letecká navigace

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Menšík, M. *Comparison of Traitional Navigation with Free Route Airspace: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2020, 85p. Thesis head: Ing. Lenka Kontriková.

This bachelor thesis is aimed on the issue area navigation using free route airspace. In the beginning, the basics of air navigation and navigation equipment are described. The next part deals with the general issues of area navigation and its current use in the world. The remaining part is focused on the economic and ecological benefits of free route airspace and evaluation of the conditions for implementation in the Czech Republic.

Key Words: Free Route Airspace, Area Navigation, Air Navigation

1. ÚVOD – motivace k řešení	16
2. Základní terminologie vztahující se k tématu práce	17
2.1. Obecné základy navigace	17
2.1.1. Země	17
2.1.2. Významné kružnice na Zemi	18
2.1.3. Konvergence a konverzní úhel	19
2.1.4. Směry v navigaci	19
2.1.5. Směrník a radiál	20
2.1.6. Magnetismus a kompas	21
2.2. Mapy a projekce	21
2.3. Letecké mapy	23
2.3.1. ICAO topografická mapa	23
2.3.2. Mapa koncové řízené oblasti	23
2.3.3. Radionavigační mapa a mapa letových tratí	23
2.3.4. Mapa standardních přístrojových odletů	23
2.3.5. Mapa standardních přístrojových příletů	24
2.3.6. Mapa přístrojového přiblížení	24
2.3.7. Mapa letiště	24
2.4. Letecká kmitočtová pásma	24
2.5. Systém uspořádávání letu FMS	25
2.6. Letecké radary	26
2.6.1. Primární radar PSR	26
2.6.2. Sekundární přehledový radar SSR	27
2.6.3. ADS	28
2.6.4. Protisrážkový systém TCAS	28
2.6.5. Protisrážkový systém ACAS	28
2.7. Datalink	28

3. Vývoj principů navigace	29
3.1. Obecné navigační metody	29
3.1.1. Srovnávací navigace	29
3.1.2. Navigace výpočtem	29
3.2. Radionavigace	30
3.2.1. Pozemní rádiový zaměřovač VDF	30
3.2.2. Palubní automatický rádiový zaměřovač ADF	30
3.2.3. Nesměrový radiomaják NDB	31
3.2.4. Všesměrový maják VOR.....	31
3.2.5. Palubní dálkoměrné zařízení DME.....	31
3.2.6. Systém řízení přesného přiblížení ILS	32
3.2.7. Mikrovlnný systém řízení přesného přiblížení MLS.....	33
3.3. Inerciální navigační a referenční systém INS/IRS.....	33
3.4. Prostorová navigace RNAV	33
3.4.1. Princip činnosti	35
3.4.2. Kategorie RNAV	35
3.4.3. Řízení letu LNAV/VNAV	35
3.5. Satelitní navigace GNSS	36
3.5.1. NAVSTAR (GPS)	37
3.5.2. GLONASS.....	40
3.5.3. GALILEO	40
4. Problematika plánování letu s využitím prostorové navigace	41
4.1. Optimalizace letu prostorové navigace	41
4.2. Požadavky navigačního vybavení v prostorové navigaci	41
4.3. Navigace založená na výkonnosti PBN	42
4.3.1. Všeobecné Specifikace	42
4.3.2. Navigační výkonnost a zatáčky	43

4.3.3.	Celková chyba systému TSE	44
4.3.4.	RNAV a RNP specifikace v PBN	45
4.4.	Snížení minim vertikálních rozestupů RVSM	49
4.5.	Vzdušný prostor volných tratí FRA.....	49
4.5.1.	Koncept.....	49
4.5.2.	Právní podklad	50
4.5.3.	Implementace.....	51
4.5.4.	Vymezení hranic	54
4.5.5.	Vztah FRA k zakázaným, nebezpečným a omezeným prostorům.....	55
4.5.6.	Plánování letu	56
4.5.7.	Změny pro řízení letového provozu	56
5.	Přehled o aktuálním využívání prostorové navigace ve světě	58
5.1.	Přehled o aktuálním využívání prostorové navigace v Evropě.....	58
5.2.	Přehled aktuálního využívání prostorové navigace ve Světě	59
6.	Kvantifikace ekonomických a ekologických přínosů letů využívajících prostorovou navigaci 61	
6.1.	Evropské projekty	61
6.1.1.	Jednotné evropské nebe SES.....	61
6.1.2.	Projekt SESAR	62
6.2.	Ekonomické přínosy.....	62
6.2.1.	Oblast SECSI	62
6.2.2.	Zkrácení tratě letu v oblasti LKAA	63
6.3.	Ekologické přínosy	65
6.3.1.	Názorný příklad.....	65
6.4.	Analýza přínosu RVSM pro životní prostředí	66
7.	Zhodnocení podmínek pro zavádění prostorové navigace v ČR.....	67
7.1.	Přehled o vývoji navigace v ČR	67

7.2.	Právní podklad FRAPRA	69
7.2.1.	ATM Master plan	70
7.2.2.	Nařízení komise EU 716/2014 – Pilot common project	70
7.2.3.	FAB CE Airspace plan	70
7.3.	Implementace FRAPRA	71
7.4.	Úspory plynoucí zavedením FRA	74
7.5.	Koncept FRA z hlediska technické realizovatelnosti	75
Závěr	76

Seznam použitých zkratk

AAIM	Airborne Autonomous Integrity Monitoring	Autonomní monitorování integrity palubního přijímače GNSS ostatním palubním vybavením
ABAS	Aircraft Based Augmentation System	Metoda rozšiřování možností GNSS pomocí úprav palubních zařízení
ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System	Letadlový systém komunikace adresování a ohlašování
ACAS	Airbone Collision Avoidance System	Palubní protisrážkový systém
ADF	Automatic Direction Finder	Radiokompas
ADS	Automatic Dependend System	Automatický závislý přehled
AIP	Aeronautical Information Publication	Letecká informační příručka
ANSP	Air Navigation Services Provider	Poskytovatel letových navigačních služeb
APV	Approach Procedures with Vertical Guidance	Postup přiblížení s vertikálním vedením
ATC	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
ATM	Air Traffic Management	Uspořádání letového provozu
ATS	Air Traffic Services	Služby letovému provozu
B-RNAV	Basic-RNAV	Základní RNAV
C	Convergency, Compass heading	Konvergence, Kompasový kurz
CA	Conversion Angle	Konverzní úhel
CANSO	Civil Air Navigation Services Organisation	Organizace poskytovatelů letových provozních služeb
CAS	Controlled Acces Service	Řízený postup navigačního systému GALILEO
CAT	Category	Kategorie přiblížení
CNS	Communication, Navigation, Surveillance	Komunikace, navigace, přehled o vzdušné situaci
CP	Comparative Navigation	Srovnávací navigace

CVSM	Conventional Vertical Separation Minium	Minimální vertikální rozestupy v tradičních prostorech
d	Deviation	Deviace
D	Dangerous Area	Nebezpečný prostor
DCT	Direct	Přímá trať
DH	Decision Height	Výška rozhodnutí
DME	Distance - Measuring Equipment	Palubní dálkoměrné zařízení
DR	Dead Recording	Navigace výpočtem
E	East	Východ
ECAC	European Civil Aviation Conference	Evropská konference pro civilní letectví
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service	Evropský WAAS (GNSS), spolupracující s GPS + GLONASS + GALILEO
ESA	European Space Agency	Evropská vesmírná agentura
FAB	Functional Airspace Block	Funkční blok vzdušného prostoru
FAF	Final Approach Fix	Fix konečného přiblížení
FIR	Flight Information Region	Letová informační oblast
FL	Flight Level	Letová hladina
FMC	Flight Management Computer	Palubní počítač pro řízení letu
FMS	Flight Management System	Automatický systém řízení letu
FR	Free Route	Volná trať
FRA	Free Route Airspace	Prostor volných tras
FRAPRA	Free Route Airspace Prague	Prostor volných tras v ČR
FRT	Fixed Radius Transition	Zatáčka s konstantním poloměrem
FTE	Flight Technical Error	Letově technická chyba
GA	General Aviation	Všeobecné letectví
GAGAN	GPS and Geo-Augmented Navigation System	Indický GNSS
GALILEO	European Global Satellite Navigation System	Evropský globální družicový systém
GBAS	Ground Based Augmentation System	Metoda rozšiřování možností GNSS pomocí pozemních přijímačů

GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální navigační družicový systém
GPS	Global Position System	Celosvětový systém určení polohy
GRAS	Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Sounding	Rozšíření systému GBAS
GS	Ground Speed	Rychlost letadla vzhledem k zemi
H24	24 Hour Operation	Nepřetržitý provoz
HDG	Heading	Kurz letadla
IAF	Initial Approach Fix	Fix počátečního přiblížení
IAS	Indicated Air Speed	Indikovaná vzdušná rychlost
IATA	International Air Transport Association	Mezinárodní asociace leteckých dopravců
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IF	Intermediate Approach Fix	Fix středního přiblížení
IFPS	Initial Flight Plan Processing System	Systém kontroly plánovaných letů
IFR	Instrument Flight Rules	Pravidla letu podle přístrojů
ILS	Instrument Landing System	Systém řízení přesného přiblížení podle přístrojů
INS	Inertial Navigation System	Inerciální navigační systém
IRS	Inertial Reference System	Inerciální referenční systém
LAAS	Local Area Augmentation System	Rozšířený systém GNSS pro lokální aplikace
LKAA	FIR Praha	Letová informační oblast ČR
LMT	Local Mean Time	Místní čas
LNAV	Lateral Navigation	Horizontální řízení letu
M	Magnetic Heading	Magnetický kurz
MAPt	Miss approach point	Bod zahájení postupu nezdařeného přiblížení
MLS	Microwave Landing System	Mikrovlnný systém přesného přiblížení
MoU	Memorandum of Understanding	Memorandum o spolupráci USA s ostatními státy o využití PPS (GPS)
MSA	Minimum Sector Altitude	Minimální sektorová výška

MSAS	Multi - Functional Satellite Augmentation System	Japonská realizace GNSS
N	North	Sever
NDB	Non - Directional Beacon	Nesměrový radiomaják
NOTAM	Notice for Airmen	Zpráva pro letce týkající se změn
NPA	Non - Precision Approach	Nepřesné přístrojové přiblížení
NSE	Navigation System Error	Navigační systémová chyba
P	Prohib Area	Zakázaný prostor
PA	Precision Approach	Přesné přiblížení
PBN	Performance Based Navigation	Navigace založená na výkonnosti
PDE	Path Definition Error	Chyba skutečné odchylky
PPS	Precise Positioning Service	Přesná služba GPS
P-RNAV	Precision-RNAV	Přesná RNAV
PSR	Primary Surveillance Radar	Primární přehledový radar
QDM	Magnetic Bearing from Aircraft to Radiobeacon	Magnetický směrník letadlo – země
QDR	Magnetic Bearing from Radiobeacon	Magnetický směrník země – letadlo
QUJ	True bearing/ Track to a Station	Zeměpisný směrník letadlo - země
R	Restrict Area	Omezený prostor
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring	Autonomní monitorování integrity palubního přijímače GNSS
RF	Radius to Fix	Zatáčka s daným poloměrem mezi počátečním a koncovým bodem
RNAV	Area navigation, Specification of RNAV	Prostorová navigace, Specifikace prostorové navigace
RNP	Require Navigation Performance, Specification of RNAV	Požadování navigační přesnost Specifikace prostorové navigace
RVR	Runway Visibility Range	Dráhová dohlednost
RVSM	Reduced Vertical Separation Minimum	Snížené minimum vertikálního rozestupu
S	South	Jih
SBAS	Satellite Based Augmentation System	Zdroje satelitních základů GNSS

SDCM	System of Differential Correction and Monitoring	Ruský GNSS
SES	Single European Sky	Jednotné evropské nebe
SESAR	Single European Sky ATM Research	Evropská organizace zabývající se výzkumem v oblasti rozdělení vzdušného prostoru
SID	Standard Instrument Departure	Standardní přístrojový odlet
SPS	Standart Positioning Service	Standardní služba GPS
SQUAK	Secondary Surveillance Radar Transponder	Označení sekundárního přehledového radaru
SSR	Secondary Surveillance Radar	Sekundární přehledový radar
STAR	Standart Arrival	Standardní přístrojový přílet
SATCOM	Satellite Communivations	Nejmodernější satelitní komunikace
T	True Heading	Zeměpisný kurz
TAS	True Air Speed	Pravá vzdušná rychlost
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System	Provozní výstražný protisrážkový systém
TMA	Terminal Control Area	Koncová řízená oblast
TRA	Temporary Reserved Area	Dočasně rezervovaný prostor
TSA	Temporary Segregated Area	Dočasně vyhrazený prostor
TSE	Total System Error	Celková chyba systému
US-RNAV	American-RNAV	Americká RNAV
UTC	Universal Time Coordinated	Světový koordinovaný čas
VAR	Variation	Magnetická deklinace
VDF	Direction Finder	VHF rádiový zaměřovač
VDL2	VHF Data Link (Mode 2)	Satelitní komunikace
VFR	Visual Flight Rules	Pravidla letu za vidu
VNAV	Vertical Navigation	Prostorové řízení letu (vertikální)
VOR	Ohmi-Directional Range	Všesměrový maják
W	West	Západ
WAAS	Wide Area Augmentation System	Americký velkoplošný systém korekcí
WGS 84	World Geodetic System 1984	Jednotný zemský geoid z roku 1984
WPT	Waypoint	Traťový bod

1. ÚVOD – motivace k řešení

Civilní letectví je nejmodernějším druhem osobní dopravy. V dnešní době si dokážeme jen stěží představit cestovat na dlouhé vzdálenosti v řádech tisíců kilometrů, bez možnosti využít přepravu letadlem. Největším benefitem letecké dopravy, oproti ostatním druhům dopravy je vysoká úroveň bezpečnosti a minimální doba strávená v přepravní procesu. Aby byly lety bezpečné a dostupné pro široké spektrum lidí, je nutná spolupráce letectví s politickým vedením státních zřízení, nejrůznějšími leteckými organizacemi a civilním sektorem.

S každoročním růstem objemu letecké dopravy je nutné zajistit bezpečný a plynulý provoz letadel při zajištění dostatečné kapacity vzdušného prostoru. Zavedená pravidla a postupy vytvořená a platící v minulém století začínají být nedostatečné a je nutná celková restrukturalizace vzdušného prostoru.

Vzhledem k dnešnímu celosvětovému cíli snižovat počet produkováných emisí a chránit životní prostředí, reaguje i letectví na tento zásadní problém. Nejlepším řešením snížení emisí produkováných leteckou dopravou je snížit na co nejmenší možnou míru uletěnou vzdálenost. Snahou Evropské unie, leteckých organizací a dopravců vzniklo několik možných variant pro dosažení tohoto cíle. Mezi nejvýznamnější projekty patří projekt Jednotného evropského nebe a koncept prostoru volných tratí.

Cílem této bakalářské práce je popsat a zhodnotit obecnou problematiku radionavigace a prostorové navigace s využitím konceptu volných tratí. Zhodnotit přínosy v podobě zkrácení uletěných vzdáleností, časů letů a úspory paliva spojené s ekologickým a ekonomickým přínosem při využití prostorové navigace.

2. Základní terminologie vztahující se k tématu práce

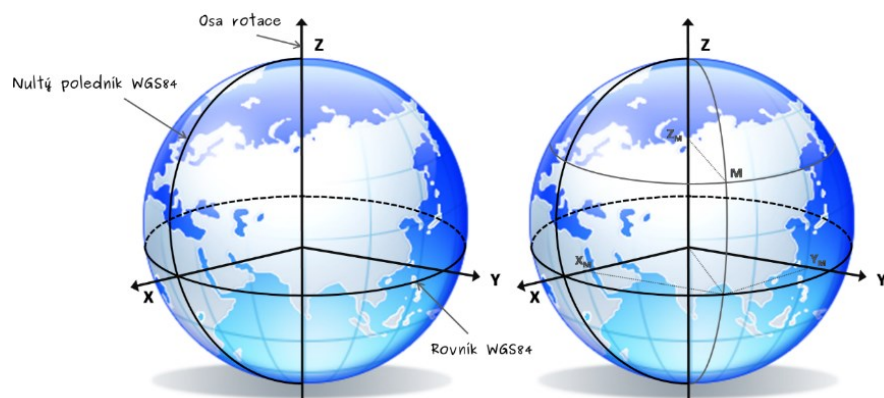
Terminologie vztahující se k tématu práce Srovnání radionavigace s prostorovou navigací je velmi rozsáhlá. Práce se zabývá vývojem principů navigace, problematikou prostorové navigace, přehledem o aktuálním využití prostorové navigace ve světě, pohledem na ekonomické a ekologické přínosy letů využívajících prostorové navigace s přechodem z konvekčních letových tratí na modernější systém volných tratí a zhodnocení podmínek pro zavádění prostorů volných tratí v ČR.

2.1. Obecné základy navigace

Obecné základy navigace jsou nezbytné pro pochopení řešené problematiky. Splněním tohoto požadavku je možné proniknout do problematiky plánování v prostorové navigaci. Obsahem části obecných základů navigace je popis Země, významných kružnic v mapách, pojmů konvergence a konverzního úhlu, směrů v navigaci, pojmů radiál, směrník a základních informací o magnetismu a kompasech.

2.1.1. Země

Země je geoid nepravidelného tvaru, blížíci se rotačnímu elipsoidu s velmi malým zploštěním. Z pohledu letecké navigace jsou chyby malé, zanedbatelné a považujeme Zemi za kouli. Z hlediska tvorby map tomu tak není. Z tohoto důvodu bylo geodety vytvořeno několik matematických modelů dle zobrazované oblasti Země. Mezi vytvořenými matematickými modely jsou rozdíly při určování souřadnic. Příchodem družicové navigace do civilního letectví a jejím zpřesněním byly vytvořené modely elipsoidů sjednoceny na model WGS 84 (World Geodetic System 1984) s délkou velké poloosy 6 378 km. Model WGS 84 je v letectví celosvětově platný od 1.1.1998. [1]



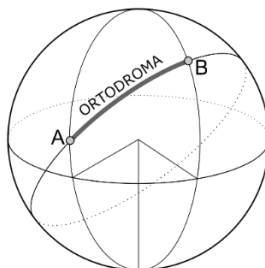
Obrázek 1. Model WGS 84

Zdroj: <https://training.gismentors.eu/open-source-gis/soursystemy/wgs84.html>

2.1.2. Významné kružnice na Zemi

Mezi významné kružnice řadíme velkou kružnici (Great Circle), malou kružnici (Small Circle) a loxodromu (Rhumb Line).

Velká kružnice je kružnice na povrchu Země s rovinou procházející jejím středem. Nejkratší možná vzdálenost dvou bodů na velké kružnici se nazývá ortodroma. [1]



Obrázek 2. Ortodroma

Zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ortodroma#/media/Soubor:Ortodroma.svg>

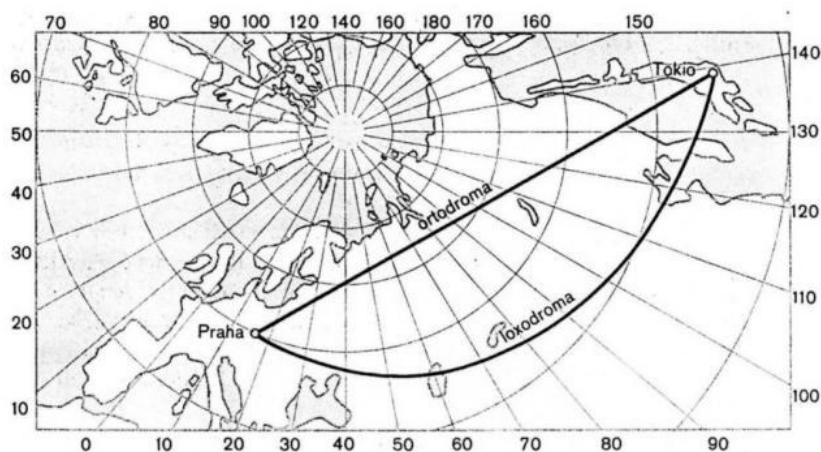
Malou kružnicí rozumíme kružnici na povrchu Země tvořenou průnikem roviny skrze zeměkouli neprocházející jejím středem. [1]



Obrázek 3. Malá kružnice

Upraven obrázek dle: *Obecná navigace*, str. 22

Loxodroma je křivka protínající poledníky pod stejným úhlem. Jedná se o křivku konstantního směru. [1]



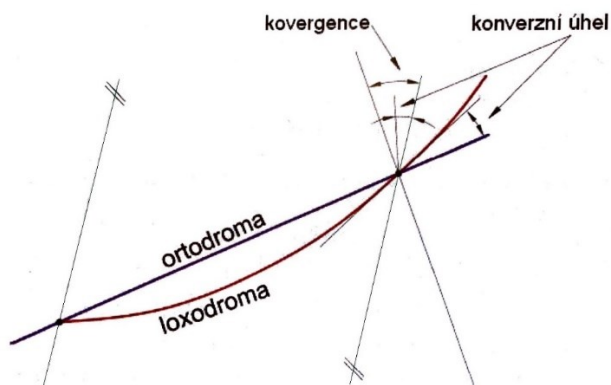
Obrázek 4. Ortodroma a Loxodroma

Zdroj: https://www.fd.cvut.cz/departament/k611/PEDAGOG/K611GM_soubory/webskriptum/kartografie/kartografie.html

2.1.3. Konvergence a konverzní úhel

Všechny poledníky na Zemi se sbíhají směrem k pólům. Sbíhavost poledníků nazýváme konvergencí C (Convergency).

Konverzním úhlem CA (Conversion Angle) rozumíme úhel mezi ortodromou a loxodromou v počátečním, nebo koncovém bodě. [1]



Obrázek 5. Konvergence a konverzní úhel
Zdroj: Obecná navigace, str. 34

2.1.4. Směry v navigaci

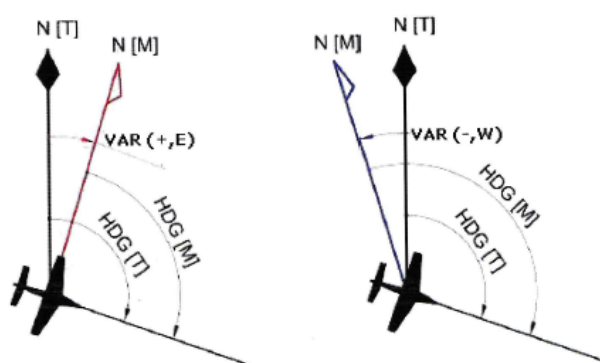
V letecké navigaci využíváme čtyři základní směry. Sever = N (North) 360/000°, Jih = S (South) 180°, Východ = E (East) 090° a Západ = W (West) 270°. Směr je udáván třemi číslicemi. Kurz letadla HDG (Heading) definujeme ve stupních jako směr prodloužené osy trupu letadla k severní části místního poledníku. Zeměpisný sever není totožný se severem magnetickým v důsledku posouvajících se magnetických pólů na Zemi. Severní magnetický pól se pohybuje rychlostí přibližně 1° za 5 let. Díky této skutečnosti zavádíme dva pojmy. Magnetická deklinace a magnetická deviace.

Magnetická deklinace VAR (Variation) udává rozdíl ve stupních mezi zeměpisným a magnetickým severem. Při západní magnetické deklinaci leží magnetický poledník západně od zeměpisného poledníku. Naopak při východní deklinaci leží magnetický poledník východně od zeměpisného poledníku.

Kompas využívaný v letadle je zároveň ovlivněn zbytkovým magnetismem z výroby a elektromagnetickým polem letadlových elektrických systémů. Chyba je závislá na velikosti ovlivňujících složek. Tuto chybu nazýváme magnetická deviace kompasu a označujeme ji malým písmenem d (Deviation). Deviace je úhel mezi směrem magnetickým a kompasovým. Při východní deviaci leží kompasový sever východně od magnetického směru. Při západní

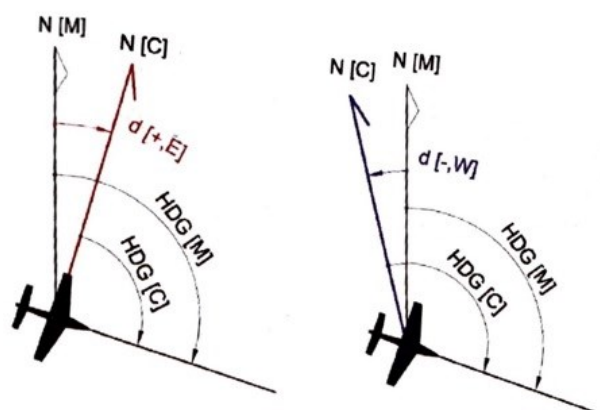
deviaci leží kompasový sever západně od magnetického směru. Z tohoto důvodu využíváme v letectví tři typy kurzů, které se nazývají pravý, magnetický a kompasový.

Kurz letadla vztažen k zeměpisnému severu nazýváme pravý = T (True). Kurz letadla vztažen k magnetickému severu nazýváme magnetický = M (Magnetic) a kurz kompasový = C (Compass) vyjadřuje kurz magnetického směru opraven o nežádoucí chyby ovlivňujících složek letadla. Pro každý kompas je sestrojena deviační tabulka na základě kompenzace daného kompasu. Magnetická deklinace je uvedena na každé navigační mapě. Při magnetických bouřích, či nadměrné sluneční aktivitě dochází k chybám, které nelze předem stanovit. [1]



Obrázek 6. Magnetická deklinace

Zdroj: Obecná navigace, str. 83



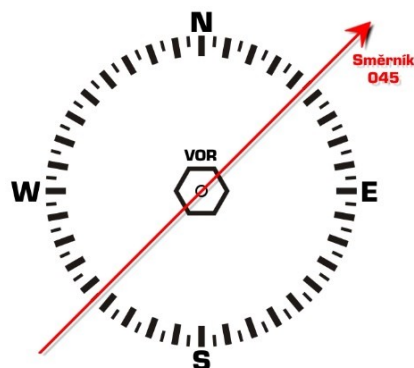
Obrázek 7. Magnetická deviace

Zdroj: Obecná navigace, str.83

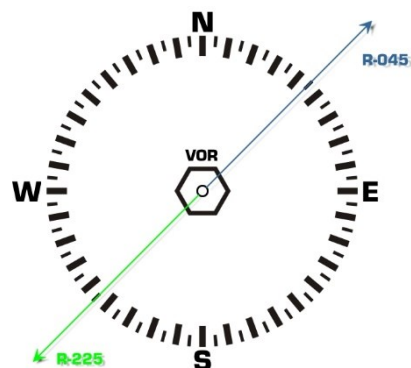
2.1.5. Směrník a radiál

Směrník je přímka svírající úhel mezi indikovaným směrem (např. podélnou osou letadla, či směrem zaměření letadla z pozemní stanice) a magnetickým severem. Rozdělením směrníku (přímky) na dva protilehlé směry v jeho středu vzniknou dva radiály. Radiály jsou dvě polopřímky lišící se svou hodnotou směru o 180° . [5]

Radiály jsou často kódovány v Q-kódech. Q-kódy jsou třípísmenné mezinárodní zkratky užívané v radioprovozu sloužící k zjednodušení a urychlení komunikace. Kód QDM vyjadřuje magnetický kurz od letadla k zaměřené pozemní stanici. Kód QDR je opak kódu QDM a vyjadřuje magnetický kurz od pozemní stanice k letadlu. [1] [6]



Obrázek 8. Směrník



Obrázek 9. Radiály

Zdroj obrázku 8 a 9: http://www.ivao.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=262&Itemid=163

2.1.6. Magnetismus a kompas

Železné kovy a oceli jsou materiály magnetické. Tyto magnetické materiály nazýváme feromagnetické. Feromagnetické materiály používané v letadlech mohou po zmagnetování ovlivňovat přesnost kompasu. Magnetické pole se projevuje v okolí magnetu a je tvořeno magnetickými siločarami. Každé magnetické pole má 2 póly, severní a jižní. Severní magnetický pól značíme modrou barvou a jižní magnetický pól červenou. Směr magnetických siločár je stanoven výstupem z jižního pólu a vstupem do severního pólu. Souhlasné póly se odpuzují a nesouhlasné póly se přitahují.

Kompasy používané v letadlech jsou několika druhů. Patří mezi ně setrvačnickové, magnetické, rádiové a astronomické. [1]

2.2. Mapy a projekce

Mapy geograficky znázorňují prostor okolo nás. V minulosti byly využívány převážně v mořeplavectví, kdy námořníkům sloužili k orientaci v prostoru a vedení lodi. Jelikož je naše planeta tvaru rotačního elipsoidu, je nutné počítat se zakřivením Země. Za tímto účelem se začaly rozvíjet grafické a výpočetní postupy pro převod zakřivení Země s minimálním zkreslením a vznikalo množství matematických a astronomických modelů. S příchodem a rozvojem letectví se mapy staly důležitou součástí. Mezinárodní organizace pro civilní letectví ICAO za účelem sjednocení modelů Země vybrala Hayfordův model rotačního elipsoidu za podklad leteckých map. Hayfordův rotační elipsoid nahrazuje tvar Země na

jednodušší kulovou plochu - referenční kouli. Pro co nejpřesnější a nejjednodušší zobrazení skutečné plochy Země je využíváno zobrazení na zmenšený – redukovaný model Země. Jedná se o zmenšený zemský elipsoid v určitém měřítku, které je voleno dle účelu a potřeby přesnosti zobrazované plochy. Takto zvolené měřítko nazýváme měřítkem mapy.

Měřítko mapy vyjadřuje poměr mezi zmenšenou a skutečnou vzdáleností. U standardní VFR mapy ČR se využívá měřítko 1:500 000, kdy 1 cm na mapě znázorňuje 500 000 cm skutečné vzdálenosti. U map zobrazujících menší oblasti dochází k minimálnímu zkreslení a označujeme je za mapy přesné.

V letecké navigaci dělíme mapy na dvě hlavní skupiny. Jejich názvy jsou převzaty z angličtiny. Jedná se o mapy typu Map a Chart. Map jsou mapy, které zobrazují zmenšené části Země s detaily. Chart je typ mapy, kde zobrazení není podrobné jako u Map, ale slouží k předem stanovenému účelu. Například radionavigační mapy jsou založeny na typu Chart.

Nejdůležitější požadavky na mapy jsou tvarojevnost, plochojevnost, délkojevnost a úhlojevnost. Tvarojevné mapy zobrazují věrné tvary odpovídající skutečným. Plochojevné mapy zobrazují věrné plochy odpovídající skutečným. Délkojevné mapy zobrazují věrné vzdálenosti a úhlojevné mapy zaručují věrné hodnoty úhlů.

Ideální mapa by měla splňovat několik kritérií. Mezi ně patří zachování měřítka v celém rozsahu, zobrazení odpovídající přesné skutečnosti a aby ortodroma i loxodroma byly přímkou. Vzhledem k nemožnosti vytvořit ideální mapu, musejí kartografové volit přiměřený kompromis dle požadovaného zobrazení oblasti. Tohoto kompromisu je dosaženo tvorbou a využitím nejrozličnějších mapových projekcí. [1]

Mapové projekce a z nich vytvořené mapy rozdělujeme dle konstrukce grafické sítě na azimutální, cylindrické a kónické.

Azimutální (rovinná) projekce je projekcí zemského povrchu na rovinu a je využívána převážně pro polární oblasti. Mezi azimutální projekce řadíme Polární stereografickou projekci. Cylindrická (válcová) projekce promítá povrch Země na válec dotýkající se povrchu Země. Do válcových projekcích patří dvě podoby Merkatorovy projekce, Normální a Příčná Merkatorova projekce. Kuželová (kónická) projekce je projekcí redukovaného modelu Země na kužel. Mezi kuželové projekce řadíme Normální kuželovou projekci a Lambertovu konformní kuželovou projekci. Válcová a kuželová projekce je volena pro protáhlá území [1]
[7]

2.3. Letecké mapy

Mapy jsou v letectví nesmírně důležitou částí. Jejich využití je zejména při předletové přípravě (briefingu) a při vykonávání samotného letu. Volba správných typů map je volena s ohledem na konkrétní potřeby zamýšlených letů. Soukromé lety GA (General Aviation) za pravidel VFR (Visual Flight Rules) využívají převážně mapu Lambertovu s měřítkem 1:500 000 s věrným zobrazením terénu. Naopak obchodní lety dle pravidel IFR (Instrument Flight Rules) využívají mapy radionavigační, odletové a přibližovací. Leteckými mapami se zabývá ICAO Annex 4. Ten stanovuje náležitosti a symboliku, které musí mapy splňovat. Každý členský stát ICAO musí zajistit správné a dostupné mapy. Tvorbou map se zabývají specializované firmy, například Jeppesen. [1]

2.3.1. ICAO topografická mapa

Topografická mapa je VFR mapa využívaná piloty GA, která je povinně vydávána každým členským státem ICAO ve stanoveném měřítku. V mapě jsou zobrazeny význačné objekty a terénní scenerie jako města, silnice, lesy, řeky, železnice, letiště, vzdušné prostory a radionavigační prostředky. Z druhé strany mapy nalezneme potřebné informace jako vertikální rozdělení vzdušného prostoru, frekvence, převodní tabulky a další užitečné informace. [1]

2.3.2. Mapa koncové řízené oblasti

Mapa koncové řízené oblasti zobrazuje blízkou oblast v okolí letiště. Měřítko je menší a mapa více podrobná než ICAO topografická mapa. V mapě nalezneme především vstupní a výstupní body, odletové a příletové VFR tratě a vyčkávací obrazce. [1]

2.3.3. Radionavigační mapa a mapa letových tratí

Radionavigační mapa a mapa letových tratí je mapa bez podrobnějšího podkladu. Je využívána pro navigaci po trati za podmínek IFR. V mapě nalezneme především radionavigační zařízení, letové tratě s jejich názvy, IFR letiště a minimální výšky jednotlivých tratí, jsou-li definované. [1]

2.3.4. Mapa standardních přístrojových odletů

Mapa je využívána při standardních přístrojových odletech SID (Standard Instrument Departure) za pravidel IFR. Není obvykle v měřítku. Každá odletová trať má specifický název složený zkratkou z písmen a čísel. Mapa je využívána pouze pro jedinou vzletovou a přistávací

dráhu, pro kterou je určena. Nalezneme v ní především názvy odletových tratí, požadované výšky a případná omezení rychlostí, zakázané či omezené prostory, frekvence a název letiště. [1]

2.3.5. Mapa standardních přístrojových příletů

Mapa standardních přístrojových příletů k letišti STAR (Standart Arrival) za pravidel IFR je svojí strukturou podobná mapě standardních přístrojových odletů. V mapě jsou zobrazeny příletové tratě mezi koncovými radionavigačními body letěných tratí a fixy počátečního přiblížení. V mapě nalezneme především příletové tratě s jejich označením, požadované výšky a případná omezení rychlostí, vyčkávací obrazce, zakázané a omezené prostory, frekvence a název letiště. [1]

2.3.6. Mapa přístrojového přiblížení

Mapa navazující na mapu standardních přístrojových příletů je mapa přístrojového přiblížení. Začíná v bodě počátečního přiblížení IAF (Initial Approach Fix), pokračuje Fixem středního přiblížení IF (Intermediate Approach Fix), Fixem konečného přiblížení FAF (Final Approach Fix), bodem nezdařeného přiblížení MAPt (Miss Approach Point) a končí prahem vzletové a přistávací dráhy. Mapa je definovaná pro všechny typy přiblížení umožňující daná vzletová a přistávací dráha (NDB, NDB/DME, VOR/DME, ILS, MLS, atd). Pro každý typ přiblížení musí být samostatná mapa. V mapě nalezneme především horizontální a vertikální profil tratě, minimální sektorovou výšku v okolí letiště MSA (Minimum Sector Altitude), výšku pro zahájení klesání, výšky v průběhu klesání a postupy nezdařeného přiblížení. [1]

2.3.7. Mapa letiště

Mapa zobrazuje detailně celý prostor letiště. Jsou v ní obsaženy všechny potřebné informace pro zajištění bezpečného a plynulého letištního provozu. V mapě nalezneme především vzletové a přistávací dráhy s jejich popisem, výšku prahů drah, referenční výšku letiště, pojezdové dráhy s jejich popisem a označením, stojánky a terminály s jejich popisem, překážky v prostoru letiště, frekvence, polohu a informace všech staveb v okolí letiště a magnetickou deklinaci letiště. [1]

2.4. Letecká kmitočtová pásma

Letecká rádiová zařízení jsou využívána ke komunikaci, navigaci a přehledu o vzdušné situaci. Pracují na ověřených pásmech kmitočtového spektra. Z hlediska různých účelů

a vlastností jednotlivých typů leteckých rádiových zařízení jsou pevně stanovená kmitočtová pásma jednotlivých leteckých zařízení, zobrazená na obrázku číslo 10. [2]

<i>Kmitočet</i>	<i>Délka vlny</i>	<i>Mezinárodní zkratka</i>	<i>České značení</i>	<i>Použití v letectví</i>
0,3-3kHz	1000-100km	ELF (Extremely Low Frequency)	EDV extrémně dlouhé vlny	v letectví nejsou využívány
3-30kHz	100-10km	VLF Very Low Frequency	VDV velmi dlouhé vlny	pro rádiové systémy daleké navigace (RSDN)
30-300kHz	10-1km	LF Low Frequency	DV dlouhé vlny	pro RSDN a NDB/ADF
0,3-3MHz	1000-100m	MF Medium Frequency	SV střední vlny	pro NDB/ADF
3-30MHz	100-10m	HF High Frequency	KV krátké vlny	pro komunikaci na větší vzdálenosti
30-300MHz	10-1m	VHF Very High Frequency	VKV velmi krátké vlny	pro komunikaci, VDF, ILS a VOR
0,3-3GHz	10-1dm	UHF Ultra High Frequency	UKV ultra krátké vlny	pro komunikaci, VDF, ILS, DME, GNSS a radary
3-30GHz	10-1cm	SHF Super High Frequency	mikrovlny	pro radarovou techniku a MLS
30-300GHz	10-1mm	EHF Extremely High Frequency	mikrovlny	pro radarovou techniku

Obrázek 10. Letecká kmitočtová pásma dle ITU (Mezinárodní telekomunikační unie)

Zdroj: Radionavigace, str. 10

2.5. Systém uspořádávání letu FMS

Systém uspořádávání letu FMS (Flight Management System) je navigační systém užívaný v moderních civilní letadlech. Monitoruje letová data, provádí navigaci a řídí letadlo v jednotlivých fázích letu pod dohledem posádky. [2] [3]

Výkonnou jednotkou FMS pro řízení letadla je autopilot. FMS disponuje 2 základními navigačními funkcemi. Směrovým vedením LNAV (Lateral Navigation) a vedením po trajektorii v prostoru VNAV (Vertical Navigation).

Navigační počítač řízení letu FMC (Flight Management Computer) je základní částí celého systému FMS. Obsahuje provozní a navigační databázi, sleduje průběh letu a určuje okamžitou polohu letadla ze zdrojů navigačních snímačů z INS/IRS, rádiových navigačních zařízení a GNSS. Pro navigační úlohy jsou preferovány informace z IRS, DME/DME a GNSS.

Moderní FMS provádí prostorovou navigaci 4-D. Pracuje s údaji času, výšky, zeměpisné šířky a délky. Účelem FMS je zajištění co nejekonomičtějšího provedení letu s co nejnižší spotřebou paliva, zlepšení navigačního vedení letadla a snížení pracovní zátěže posádky. [2]

Při odletu a počáteční fázi letu je upřednostňovaná poloha z IRS. S narůstající dobou v průběhu letu se celková chyba z IRS zvyšuje a začínají se upřednostňovat získané informace z jiných zdrojů (VOR, DME, GNSS). [1]

2.6. Letecké radary

Radar (Radio Direction and Range), neboli radiolokátor měří vzdálenosti a směry k cílům pomocí vysílaných a přijímaných rádiových vln, nebo jen přijímaných rádiových vln od těchto cílů. Principem činnosti radarů je přijímat signál od detekovaných cílů. Příjem signálu je pasivní nebo aktivní.

Pasivní příjem je detekce odrážených signálů od zaměřeného cíle. Tento princip využívají primární radary. Aktivní příjem je příjem signálu vysílaný vysílačem zaměřeného cíle. Tento princip využívají sekundární přehledové radary. [2]

2.6.1. Primární radar PSR

Primární přehledový radar PSR (Primary Surveillance Radar) je radar s velmi vysokým výkonem vysílače ozařující cíle a vlastního radarového přijímače pasivních signálů.

Je využíván řízením letového provozu ATC (Air Traffic Control) pro monitorování pohybu letadel a zajištění jejich bezpečné vzdálenosti mezi sebou. Měří vzdálenost a směr k cíli bez spolupráce s cílem. Ve zvláštních případech měří i výšku cíle.

Letadla využívají primární radar k navigaci, k měření traťové rychlosti a úhlu snosu. Dále jsou primární radary na palubě letadel využívány pro detekci meteorologické situace v okolí letadla. Detekují oblačnost, srážkové oblasti a obraz reliéfu před letadlem. [2]



Obrázek 1111. PSR - Obrazovka ATC

Zdroj: <https://sites.google.com/site/atsys2ay1617te04team2/home/technical-specifications/systems/radar-systems>

2.6.2. Sekundární přehledový radar SSR

Sekundární přehledový radar SSR (Secondary Surveillance Radar) je využíván při navigaci letadel. Poskytuje informace pro ATC a spolupracuje s protisrážkovým systémem TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System). Skládá z dotazovače a odpovídače. Dotazovač je pozemní část radaru aktivně a automaticky spolupracující s palubním odpovídačem. Pozemní sekundární přehledový radar měří směr, šikmou vzdálenost a přenáší obousměrný tok informací o známém sledovaném cíli mezi pozemním dotazovačem a palubním odpovídačem.

Signály SSR jsou přenášeny pouze jednosměrně. Od dotazovače k přijímači, poté od přijímače k dotazovači. Tento princip snižuje požadavky na výkon vysílačů. SSR pracuje v civilním letectví v několika módech. Módy jsou označeny velkými písmeny v abecedním pořadí od nejstarších k nejmodernějším. V současnosti jsou nejužívanější módy A, C a S. Pozemní zařízení SSR využívající ATC pracují ve všech módech současně. [2]

Mód A Vysílá pouze informaci o poloze s čtyřmístnou identifikací letadla (SQUAWK).

Mód C Vysílá informaci o poloze s čtyřmístnou identifikací letadla a údajem o standardní tlakové výšce.

Mód S Vysílá informace o poloze s čtyřmístnou identifikací letadla doplněnou o pevný kód, který se během letu nemění a údajem o tlakové výšce. V módu S jsou dále odesílány informace o magnetickém, nebo kompasovém kurzu, indikované rychlosti letu IAS (Indicated Air Speed), vertikální rychlosti, úhlu příčného náklonu, rychlosti změny traťového úhlu, skutečného traťového úhlu a traťové rychlosti TAS (True Air Speed). [8] [9]



Obrázek 12. SSR - Monitor ATC

Zdroj: <https://www.caapakistan.com.pk/ANS/Ops/ANS-ATM.aspx>

2.6.3. ADS

ADS (Automatic Dependend System) je modernější systém poskytující přehled o vzdušné situaci. Princip je založen na předávání polohy a dat letadla získaných z GNSS pozemnímu zařízení pomocí standardních komunikačních linek a ostatním letadlům ve vzdušném prostoru. Získané informace o poloze letadla jsou díky GNSS mnohem přesnější, než u SSR. Úkolem ADS je nahradit aktuálně užívaný systém SSR, který se s růstem letového provozu stává nedostatečným a zastaralým. Systém klade důraz na vyšší efektivitu, minimalizaci ceny infrastruktury, vyšší bezpečnost a přesnost přehledové situace. Zároveň klade vyšší nároky na palubní vybavení a pozemní zařízení. [10]

2.6.4. Protisrážkový systém TCAS

Neustálým zhušťováním leteckého provozu vzrůstá i riziko nebezpečného sblížení letadel a zvyšující se riziko srážky. Z tohoto důvodu jsou letadla vybavena zařízeními, která riziko srážky snižují a informují posádku o nebezpečných situacích. Mezi tato zařízení patří TCAS. [3]

2.6.5. Protisrážkový systém ACAS

Dalším typem palubního protisrážkového systému je systém ACAS (Airbone Collision Avoidance System), což je protisrážkový systém plně spolupracující se systémy TCAS. Pro zvýšení efektivnosti protisrážkového systému jsou využity informace ze systému ADS-B. Tato metoda je označována jako hybridní informace o přehledové situaci (Hybrid Surveillance) a snižuje četnost dotazů systému, což snižuje zatížení využívaných frekvencí. [10] [11]

2.7. Datalink

S neustále narůstajícím leteckým provozem začínají být komunikační kanály přeplněné a neefektivní. Řešením je přesunutí veškeré komunikace na datovou linku.

Prvním systémem datalinku byl ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System). Byl využíván zejména pro přenos zpráv mezi letadlem a ATC, pro přenos provozních zpráv aerolinek a servisních zpráv o stavu motorů. Novějším datalinkem je systém VDL2. Oproti systému ACARS disponuje vyšší přenosovou rychlostí a větším objemem přenášených dat. VDL2 nezabezpečuje pokrytí celého světa. Nejmodernějším komunikačním kanálem pro hlasové i datové spojení je SATCOM, který je nejsvižnějším typem datalinku. [12]

3. Vývoj principů navigace

Počátky letectví se datují do začátku dvacátého století. Od té doby prošlo letectví významnou proměnou, jak zvýšením bezpečnosti, tak technickou vymožeností a rozvojem po celém světě. Letectví je nejbezpečnějším druhem osobní přepravy. Je to moderní obor, do kterého jsou postupně implementovány nejmodernější technologie. Zařazení nových technologií do provozu ovšem stěžují složité certifikační procesy. V začátcích letectví byly využívány pro orientaci primitivní navigační prostředky, jako hodinky a kompas. S rozvojem technologií začaly do letectví a letecké navigace postupovat modernější navigační zařízení a v druhé polovině 20. století vznikly první systémy řízení letu.

3.1. Obecné navigační metody

Od dob, co se začalo létat na větší vzdálenosti, stala se potřebou letců orientace v prostoru a čase. Prvním a nejjednodušším způsobem orientace bylo prostudování trati letu z mapy a využití hodinek, či stopek a základního navigačního zařízení kompasu. Touto potřebou vznikl první typ letecké navigace, a to srovnávací navigace.

3.1.1. Srovnávací navigace

Srovnávací navigace CP (Comparative Navigation) je využívána při letech za vidu dle pravidel VFR. Při letu VFR musí mít pilot vizuální kontakt s terénem. Sleduje význačné terénní reliéfy a body, podle kterých se s pomocí mapy orientuje v prostoru a čase.

S potřebou zefektivnit let a letět delší úseky konstantním směrem, vznikla navigace výpočtem.[1]

3.1.2. Navigace výpočtem

Navigace výpočtem DR (Dead Recording) je typ navigace, kde se začal využívat vektorový trojúhelník rychlostí. Mezi nejdůležitější parametry trojúhelníku rychlostí patří kurz letadla HDG (Heading), plánovaná trať, aktuální trať, indikovaná vzdušná rychlost IAS, pravá vzdušná TAS, traťová rychlost GS (Ground speed) a poloha letadla vůči zemi. Dalšími důležitými parametry ovlivňující navigaci výpočtem je směr a rychlost větru, úhel snosu větru a vypočtená poloha letadla vůči zemi. Výpočet lze provádět dvěma způsoby. Prvním způsobem je provedení ručního výpočtu. Druhým způsobem je využití navigačního počítadla, kde se nastaví známé vstupní hodnoty a následnou prací s navigačním počítadlem dostaneme

výslednou hodnotu. Navigace výpočtem se využívá v oblastech bez jakéhokoliv pokrytí radionavigačních zařízení a absence inerciálního navigačního, nebo referenčního systému. [1]

3.2. Radionavigace

Létání za podmínek VFR bylo s rozvojem letectví značně omezující. Byla potřeba zefektivnit letové trasy na co nejkratší vzdálenosti. Dalším požadavkem bylo sjednocení části letových tratí pro více letadel letících podobným směrem a uspořádání toku letového provozu. Pro tento účel se začalo využívat leteckých rádiových prostředků. Mezi první letecká rádiová zařízení řadíme pozemní rádiový zaměřovač VDF, palubní automatický rádiový zaměřovač ADF a pozemní nesměrové majáky NDB. Tato zařízení jsou založena na směrových vlastnostech antén přijímače a zesilovače. V dnešní době jsou poměrně zastaralá a z provozu je prakticky vytlačily modernější zařízení, jako všesměrový maják VOR, palubní dálkoměrné zařízení DME, systém řízení přesného přiblížení ILS a mikrovlnný systém přesného přiblížení MLS. [2]

3.2.1. Pozemní rádiový zaměřovač VDF

Pozemní rádiový zaměřovač VDF (Direction Finder) je zařízení na zemi, sloužící k měření směru zaměřovaného signálu od letadlové palubní stanice. Obsluha zaměřovače měří směr příchodu signálu vzhledem k magnetickému severu, nebo zeměpisnému severu. Výsledná hodnota je vyjádřena ve stupních a udává kurz, od kterého se letadlo přibližuje k zaměřovači. Připočtením 180° k měřené hodnotě získáme kurz letadla QDM, QUJ. Tuto hodnotu předává operátor rádiové stanice hlasem, případně odesláním příslušného Q-kódu posádce letadla. Pro zjištění okamžité polohy letadla se využívá zaměření z více VDF stanic situovaných na různých místech. [2]

3.2.2. Palubní automatický rádiový zaměřovač ADF

Palubní automatický rádiový zaměřovač ADF (Automatic Direction Finder) je zařízení na palubě letadla, sloužící k zaměření směru příchozího signálu od letecké pozemní rádiové stanice NDB. Skládá se z palubního přijímače a palubního indikátoru. Obvyklá hodnota chyby relativního zaměření mezi $2-5^\circ$. Chyby jsou způsobeny převážně kovovou konstrukcí letadla, nižší intenzitou přijímaného signálu ve vyšších výškách, refrakcí vlny v ionosféře, která je nejznatelnější při východu a západu slunce, v noci, přechodem mezi pevninou a rozsáhlou vodní plochou, terénem, bouřkovou činností a náklonem letadla. Systematické chyby měření

se odstraňují před zahájením letu procesem kompenzace radiokompasu. Kompenzace je běžná i za letu. [2]

3.2.3. Nesměrový radiomaják NDB

Nesměrový radiomaják NDB (Non-Directional Beacon) je v dnešní době zastaralé a nepřesné zařízení. Ovšem pro svou hustou síť po celém světě je částečně provozován. Využívá se jako záložní navigační systém moderních letadel a také ve sportovním létání. Výhodou je jeho jednoduchost, nízké pořizovací a provozní náklady a značná spolehlivost. Dosah NDB se liší dle svého určení. Letištní NDB určené pro přiblížení je menšího dosahu, než traťové NDB. Traťové NDB mají za dobrých meteorologických podmínek dosah až 300 km. [2]

3.2.4. Všesměrový maják VOR

Všesměrový maják VOR (Omni-Directional Range) je palubní zařízení, které poskytuje polohovou informaci letadla vůči majáku. Pilot má přímou informaci o radiálu směřujícím k/ od stanice. Jde o ortodromické spojení VOR – letadlo.

Je-li VOR v kombinaci se zařízením DME, má posádka informaci o aktuální poloze a vzdálenosti od majáku. Tato kombinace umožňuje blízkovou rádiovou navigaci, na níž je založena prostorová navigace B-RNAV a P-RNAV v Evropě (Viz kap. 4.2).

Dosah závisí na výšce letadla a výkonu VOR. Všesměrové majáky VOR se dělí jako nesměrové majáky NDB na letištní a traťové. Rozdíl je opět v jejich výkonu. Traťové majáky mají mnohem větší výkon s větším dosahem oproti letištním přibližovacím majákům. Celková přesnost VOR je vyšší než u NDB. Nutné je počítat s kuzelem nestálé indikace nad majákem, který je vymezen nejčastěji úhlem do 50° od zemského povrchu. Uvnitř kužele je oblast bez signálu, kde se ručička indikátoru chaoticky pohybuje. Na rozdíl od NDB je zařízení VOR na palubě letadla vybaveno pro případ výpadku, nebo příliš slabého signálu indikací nesprávné funkce. Tato indikace je prezentována červeným praporkem s nápisem OFF. [2]

3.2.5. Palubní dálkoměrné zařízení DME

Palubní dálkoměrné zařízení DME (Distance-Measuring Equipment) funguje na principu činnosti sekundárního radaru. Skládá se z pozemního odpovídače a palubního dotazovače a přijímače. DME zařízení na palubě letadla měří a indikuje šikmou vzdálenost letadla od pozemního odpovídače. Dosah DME/N, tedy typu DME pro navigaci na trati, je za ideálních podmínek 370 km. V nižších výškách může být dosah omezen terénními nerovnostmi. Většina DME dokáže indikovat i traťovou rychlost.

Pozemní zařízení DME dokáže odpovídat až 100 letadlům současně. Při ztrátě signálu od pozemního zařízení si palubní zařízení uloží poslední hodnotu ve své paměti až po dobu 10 vteřin. Při průletu hluchého kužele, který je u pozemního DME relativně malý, obvykle palubní indikátor nezobrazí výpadek signálu, jelikož průlet tímto kuželem bývá často do 10 vteřin. S přibližováním letadla k DME roste chyba měřené horizontální vzdálenosti, jelikož je měřená vzdálenost mezi DME a letadlem značně šikmá.

Při využití DME v kombinaci s přesným systémem přiblížení ILS/MLS má posádka informaci o vzdálenosti letadla k prahu dráhy. Kombinace MLS/DME je označována DME/P a má dosah 46-56 km. Dopravní letadla jsou vybavena dvěma současně pracujícími zařízeními DME. Vzhledem k tomu, že každé DME na palubě letadla může pracovat s jiným pozemním odpovídačem DME, tvoří dvojice DME na palubě letadla dálkoměrný letecký navigační systém. Tento systém dokáže určit okamžitou polohu letadla a s rostoucí vzdáleností přijímače na palubě letadla od pozemního odpovídače vzniká jen velmi malá chyba. Dálkoměrný letecký navigační systém se využívá pro kalibraci ostatních palubních navigačních zařízení. DME je základním prostředkem a zdrojem informací o vzdálenosti v systému prostorové navigace a zdrojem určení polohy vyšších úrovní systémů prostorové navigace.

Systém blízké navigace je tvořen kombinací VOR a DME. Tato zařízení bývají instalována na společném stanovišti, či ve své blízkosti a mají párované kmitočty. Kombinace VOR/DME umožňuje posádce současně měřit směr a vzdálenost k pozemnímu majáku. Kombinace DME/DME je nejpřesnější radionavigační systém pro určení polohy letadla v prostoru. [2]

3.2.6. *Systém řízení přesného přiblížení ILS*

Systém řízení přesného přiblížení na přistání ILS (Instrument Landing System) je poměrně zastaralé zařízení. Vznik je datován před rokem 1950. I přes své stáří je neustále využíváno pro svou přesnost a spolehlivost při řízení přesného přiblížení letadel na přistání PA (Precision Approach). Umožňuje posádce směrové a vertikální vedení ve fázi konečného přesného přiblížení a přistání.

ILS přiblížení se dle provozních minim ICAO dělí na 3 hlavní kategorie CAT I, II a III. Kategorie III je dále dělena do tří podkategorií A, B a C. Každá kategorie je určena minimální výškou rozhodnutí DH (Decision Height) a minimální dráhovou dohledností RVR (Runway Visibility Range). Kategorie III C umožňuje automatické přistání za nulové dráhové dohlednosti, ale v provozu se nevyužívá. [2]

Všechny ILS kategorie včetně stanovených minim jsou popsány na obrázku číslo 13.

Category	System minima	Decision Height	RVR requirement
CAT I	60 m (200 ft)	Not less than 200 ft	Not less than 550 m or ground visibility not less than 800 m
CAT II	30 m (100 ft)	Less than 200 ft but not less than 100 ft	Not less than 350 m **
CAT III A	Nil	Less than 100 ft or no DH	Not less than 200 m
CAT III B	Nil	Less than 50 ft or no DH	Not less than 50 m *
CAT III C	Nil	No DH	None

Obrázek 13. ILS provozní kategorie dle ICAO

Zdroj: <https://www.theairlinepilots.com/forum/viewtopic.php?f=38&t=1163>

3.2.7. Mikrovlnný systém řízení přesného přiblížení MLS

Mikrovlnný systém řízení přesného přiblížení MLS (Microwave Landing System) je dalším typem přesného přiblížení a přistání. Byl vyvíjen od počátku jako modernější náhrada systému ILS. Cílem systému MLS bylo odstranění všech nevýhod systému ILS. Tedy zvýšení přesnosti navedení na přistání, odstranění nepříznivých funkcí vnějšími vlivy, využití ve zvlněném terénu, přidání možnosti posádkám volit tvar příletové trajektorie, zvýšit počet použitelných kmitočtových kanálů, zmenšit rozměry, hmotnost a nároky na provoz pozemních částí systému. [2]

3.3. Inerciální navigační a referenční systém INS/IRS

Inerciální systém je autonomní systém navigace nezávislý na vnějších zařízeních. Systém je dělen na dva typy dle využívaných gyroskopů. Prvním typem je inerciální navigační systém INS využívající mechanické gyroskopy. Druhým typem je inerciální referenční systém IRS, využívající gyroskopy laserové. [1]

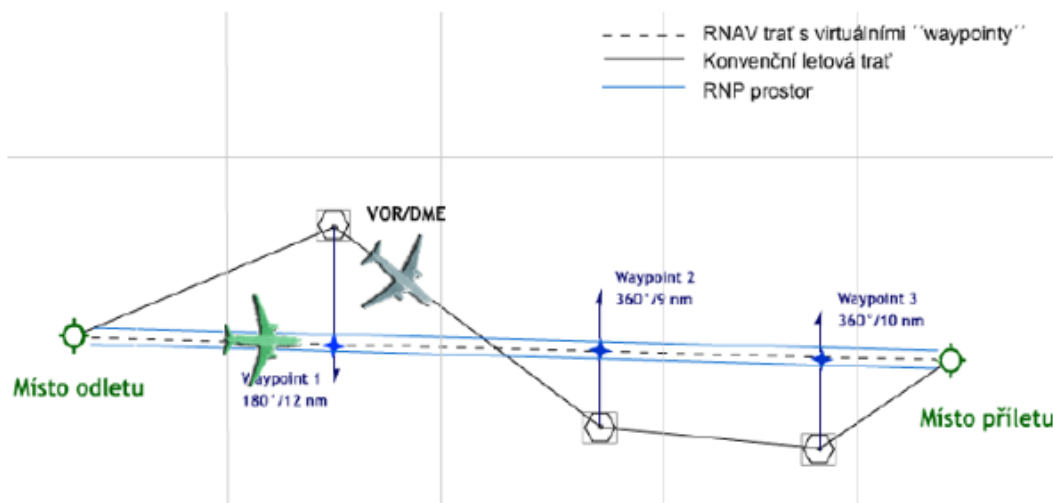
3.4. Prostorová navigace RNAV

Prostorová navigace RNAV (Area Navigation) je moderní způsob letecké navigace za podmínek IFR. Umožňuje vedení letadla po jakékoliv požadované trati bez nutnosti přelétávat pozemní radionavigační zařízení. Jednotlivé traťové body WPT (Waypoint) mohou být určeny pozemním navigačním zařízením, nebo zeměpisnými souřadnicemi. Traťové body jsou u jednodušších palubních systémů RNAV zadávány pilotem ručně, u modernějších systémů

jsou kvalifikovaným pozemním personálem nahrávány do navigační databáze systému FMS v datových balíčcích.

Trať letu musí být pokryta signálem referenčních navigačních prostředků, nebo je dána výkonností a limity samočinných navigačních zařízení. Možná je i kombinace. [2] [4]

Rozdíl v trati letu podle radionavigace a RNAV popisuje obrázek číslo 14.



Obrázek 14. Porovnání konvenční a RNAV tratě

Zdroj: Diplomová práce, Metody, technické prostředky a procedury plánování a navigace letu po volných trasách v podmínkách RVSM, str. 13

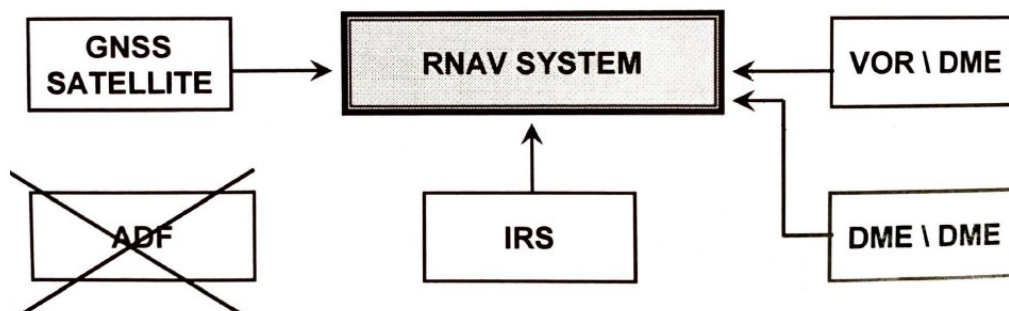
Výhodou RNAV oproti starším typům IFR navigací je provozní efektivnost a navýšení využitelnosti vzdušného prostoru se snížením rozestupů mezi letadly. Trate letů se využitím RNAV zkrátily, snížila se doba letu a s ní spojená spotřeba paliva. V oblastech s hustým provozem byly vytvořeny paralelní trasy pro zajištění dostatečné kapacity dané oblasti, umožnil se oblet zatížených koncových řízených oblastí TMA (Terminal Control Area) a vznikla možnost tvorby vyčkávacích obrazců mimo pozemní navigační zařízení. [2]

Pro přehlednější tok letového provozu sledovaného a řízeného ATC jsou stanoveny RNAV letové tratě. Díky možnosti volit WPT kdekoliv na zemi, jsou RNAV letové tratě mnohem častěji přímé, než tomu bylo v minulosti u konvenčních tratí. Při přiblížení jsou tratě RNAV konstruovány tak, že první WPT je umístěn na hranici TMA a poslední je bod MAPt. [4]

Nejnovější a stále postupně zavádějící se koncept prostorové navigace v Evropě je vzdušný prostor volných tratí FRA (Free Route Airspace). Jedná se o specifický vzdušný prostor, využívající prostorovou navigaci s volbou volného plánování tratě letu. [13]

3.4.1. Princip činnosti

Palubní vybavení automaticky vyhodnocuje polohu letadla. Ta je určována z jednoho, nebo více navigačních zdrojů v různých kombinacích za účelem dosažení a udržení požadované trati. Mezi navigační zdroje prostorové navigace patří zařízení VOR/DME, DME/DME, INS/IRS, ILS, MLS a GNSS. Zařízení ADF není v RNAV využíváno. Získané informace z navigačních zdrojů zpracovává a vyhodnocuje FMC. Výstupem FMC je aktuální poloha letadla, rychlost letadla vůči zemi, doba letu, předpokládaný čas příletu atd. [2]



Obrázek 15. Vstupy do systému RNAV
Zdroj: Letové postupy a provoz letadel, str. 172

3.4.2. Kategorie RNAV

RNAV dělíme do tří kategorií. První kategorie je 2-D RNAV. Tento typ navigace je první generací systému RNAV a slouží pouze pro navigaci v horizontální rovině (RNAV/LNAV). Druhou kategorií je 3-D RNAV. Tento typ je schopen vést letadlo v horizontální i vertikální rovině (RNAV/VNAV), tedy v prostoru. Třetí kategorií je 4-D RNAV. Jde o 3-D RNAV doplněný o funkci času. [1]

3.4.3. Řízení letu LNAV/VNAV

Horizontální řízení letu LNAV zajišťuje FMS. Výstupní informace z FMC v horizontální rovině jsou ortodromické trati mezi definovanými traťovými WPT.

Vertikální řízení letu VNAV zajišťuje opět FMS a tento způsob řízení lze aktivovat ihned po vzletu. FMS je schopen vést letadlo v horizontální i vertikální rovině s požadovaným výškovým profilem trati. Stoupání je prováděno s požadovaným tahem a rychlostí stanovenou pro jednotlivé SID u jednotlivých letišť. Zásahem pilota a nastavením požadovaných hodnot může posádka při stoupání letadlo nastavit dle vlastních preferencí, či pokynů od ATC.

Při stoupání udržuje aktivní FMS limity dané SID. Do výšky 10 000 ft je předdefinovaná rychlost obvykle do 250kt. Po průletu touto výškou je stoupání a rychlost nastavena na

ekonomický mód pro stoupání až do přednastavené letové hladiny FL (Flight level). Na trati v dané letové hladině je udržována ekonomická rychlost pro danou hladinu. Let po trati končí v bodě zahájení sestupu. Při sestupu je tah omezen jeho maximální nastavenou hodnotou a probíhá dle limitů zvolené STAR. Rychlost na sestupu je do průletu výšky 10 000 ft ekonomická a pod touto výškovou hranicí obvykle 240kt. Předdefinovanou rychlost lze po celou fázi letu posádkou ručně přenastavovat. [2]

3.5. Satelitní navigace GNSS

Globální družicový navigační systém GNSS (Global Navigation Satellite System) představuje novou technologii v komunikaci, navigaci a přehledu o vzdušné situaci CNS (Communication, Navigation, Surveillance). GNSS využívá pro určování zeměpisných souřadnic model země WGS 84. V poslední době značně roste využití GNSS a setkáváme se s jeho využitím ve všech fázích letu. GNSS se skládá ze tří základních částí. Řídícího segmentu, kosmického segmentu a uživatelského segmentu [2]

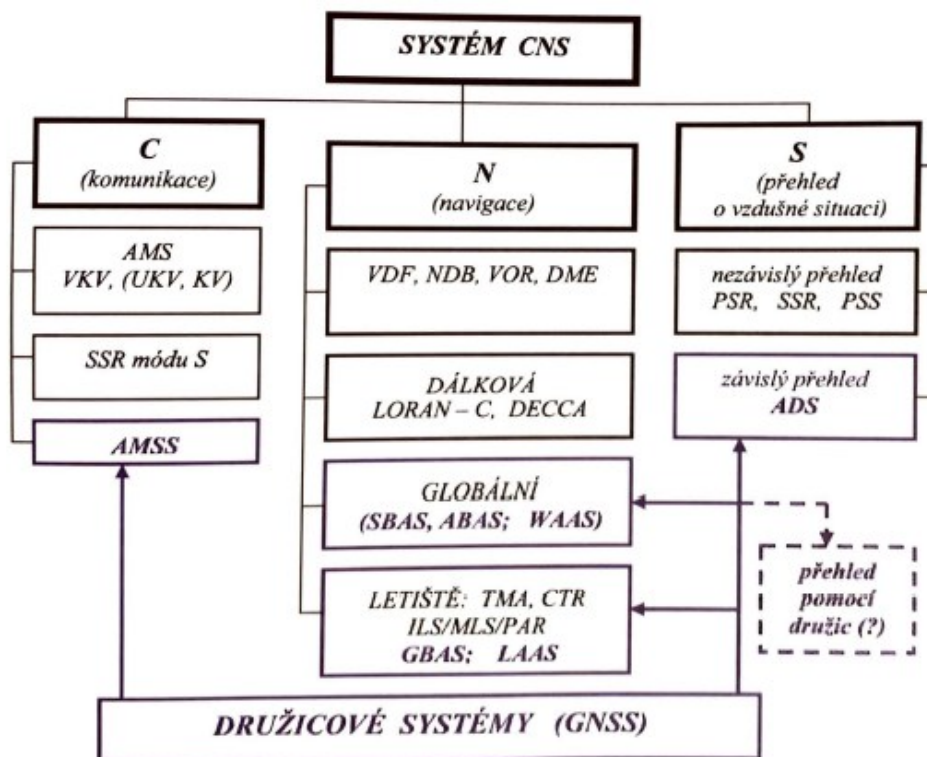
Komunikace mezi pozemními stanicemi a kosmickými družicemi je zajišťována navigačními zprávami. Navigační zpráva obsahuje všechny nezbytné informace o dané družici. [14]

Nejvýznamnější výhodou GNSS je nahrazení rozsáhlé pozemní sítě radionavigačních majáků výrazně nižším počtem družicových stanic. Naopak přiblížení na přistání pomocí GNSS je teprve v začátcích. Dle ICAO Doc. 8168 není v současné době možné využít GNSS přiblížení jako přesné, ale pouze jako nepřesné přístrojové přiblížení NPA (Non-Precision Approach). Snahou zainteresovaných zemí je vyvinout přiblížení využívající družicové navigace s charakterem přesného přiblížení a postupně nahradit dnes využívané typy přesných přiblížení ILS a minimálně užívaných systémů MLS.

GNSS je ve světě rozdělen na dva vzájemně kompatibilní celky jednotlivě spolupracujících systémů. První celek se nazývá GNSS 1 a zahrnuje dva nejrozšířenější systémy NAVSTAR (GPS) a GLONASS. NAVSTAR (GPS) je americký družicový systém a GLONASS je ruský družicový systém. Oba systémy jsou vojenské, čímž není zajištěna záruka provozu ve výjimečných případech. Do GNSS 1 dále patří rozšiřující systémy. Jedná se o Americký velkoplošný systém korekcí WAAS (Wide Area Augmentation System) a místní systém korekcí LAAS (Local Area Augmentation System), Japonský satelitní rozšiřující systém MSAS (Multi-Functional Satellite Augmentation System) a Evropský systém šíření korekcí EGNOS

(The European Geostacionary Navigation Overview System). Druhý celek nazývaný GNSS 2 zahrnuje evropský systém globální družicové navigace GALILEO. Důvodem tvorby čistě evropského družicového systému GALILEO je snaha o vytvoření nezávislosti na GNSS 1. Systémy GNSS 1 i GNSS 2 zajišťují pokrytí po celém světě. [4]

Na obrázku číslo 16 můžeme vidět schéma systému CNS.



Obrázek 16. Schéma CNS
Zdroj: Radionavigace, str. 225

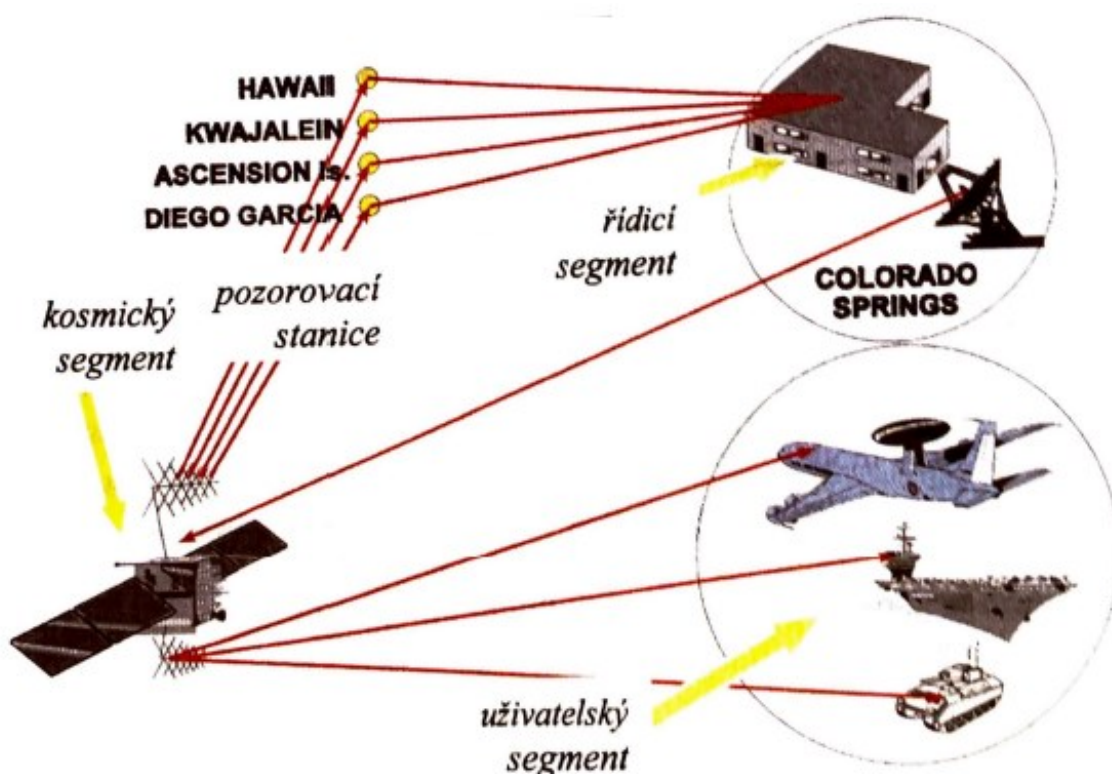
3.5.1. NAVSTAR (GPS)

GPS (Global Position System) poskytuje informace o zeměpisné šířce, zeměpisné délce a výšce letadla nad zemí. [4]

„Princip činnosti GPS spočívá v rádiovém měření vzdálenosti uživatele od alespoň čtyř družic, jejichž poloha je známá,“ [4]

GPS není dosud využíván jako primární navigační systém. Překážkou je nedůvěra uživatelů v systém. Existuje možnost, že provozující subjekt USA záměrně sníží přesnost celého systému, nebo jej úplně vypne. Pro zajištění důvěry je zapotřebí dosáhnout trvalé a odpovídající integrity s neustále přesnou úrovní měření přesnosti polohy. [2]

Obrázek číslo 17 ukazuje propojení mezi řídicím, kosmickým a uživatelským segmentem.



Obrázek 17. Struktura GPS
Zdroj: Radionavigace, str. 194

GPS poskytuje dvě základní služby. První službou je poskytování měření polohy při běžné přesnosti SPS (Standart Positioning Service), která je využívána v civilním sektoru a je volně přístupná. Druhá služba je přesné měření polohy PPS (Precise Positioning Service). Služba PPS je poskytována pouze autorizovaným uživatelům, kteří s provozovatelem GPS podepsali zvláštní dohodu MoU (Memorandum of Understanding). Typickými uživateli jsou ozbrojené složky a armády NATO.

Modernizace GPS má za cíl dosáhnout co nejvyšší dostupnosti, nepřetržitosti, přesnosti a celistvosti funkce vedoucí k rozšiřování využití GPS pro měření polohy a času. Technologie, kterými je dosahováno těchto cílů jsou v letecké navigaci systémy SBAS, ABAS a GBAS. [2]

Systémy ABAS, SBAS a GBAS jsou podpůrné a rozšiřující systémy GPS s přídavnými korekcemi. Korekce jsou získávány ze tří hlavních zdrojů. Prvním jsou zdroje palubní ABAS (Aircraft Based Augmentation System), druhým jsou zdroje z družic SBAS (Satellite Based Augmentation System) a třetím jsou zdroje z pozemních základů GBAS (Ground Based Augmentation System). [4]

Palubní systém ABAS disponuje funkcemi RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) a AAIM (Airborne AIM). Funkce RAIM zvyšuje spolehlivost činnosti a přesnosti měření přijímače. Současně sleduje více družic a při zjištění nesrovnalosti s užívanou družicí, danou družicí vyřadí a přejde na jinou viditelnou nenarušenou družici. Podmínka funkce RAIM je umožněna při současném sledování minimálně čtyř družic, kdy čtyři družice poskytují měření 3-D polohy a příjem navigační zprávy. Využívání čtyř družic a sledování páté družice zaručuje při výpadku okamžitý přechod na čtyři funkční družice a zajištění funkčnosti systému. Pro zajištění funkce RAIM je nejvýhodnější aktivní využívání čtyř družic a více než dvě družice sledovat. Funkce AAIM porovnává výsledky měřené z polohy GPS s ostatními palubními měřícími zařízeními. V případě lišících se výsledků GPS od klasických certifikovaných leteckých navigačních přístrojů je pilot povinen pokračovat v letu podle klasických navigačních přístrojů a po zbytek letu zařízení GPS nevyužívat.

Systém SBAS je založen na zdokonalování činnosti řídicího a kosmického segmentu. Využívá pozemní stanice pro dosažení vyšší přesnosti, především pro fázi přiblížení. Systém SBAS funguje na principu vysílání korekcí plně spolupracující se systémy WAAS, EGNOS a MSAS. Systémy EGNOS a WAAS pokrývají rozlehlé plochy rozdělené na části, kde v každé části jsou rozmístěny jednotlivé referenční stanice. [2]

Systém EGNOS je rozšiřující navigační systém. Je vyvíjen evropskou tripartitní skupinou složenou z Evropské unie, EUROCONTROlu a Evropské kosmické agentury ESA (European Space Agency). Systém EGNOS poskytuje rozšíření diferenčními korekcemi velkoplošného typu vysílané prostřednictvím geostacionárních družic. Tímto rozšířením je zvýšena přesnost určení polohy. Přiblížení a přistání s využitím systému EGNOS je přibližně stejně přesné, jako při využití ILS. Přesnost určení polohy je vyšší než ± 1 m. [4]

Systém GBAS je rozšiřující korekční systém využívající pozemních referenčních stanic. [2]

Rozšiřujícím systémem GBAS je systém GRAS (Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Sounding). Jedná se o systém GBAS aplikovaný na větší území s vyšší úrovní poskytovaných služeb pro různé fáze letu. Systém GRAS je dále dělen na subsystémy GRAS A a GRAS B. [15]

Pro účely komunikace, pozorování a dalšího využití GNSS je vhodné vyloučit relativní pohyb družice vůči uživateli na Zemi. Tedy, aby družice zdánlivě stála na obloze z pohledu uživatele. Takovéto družice nazýváme Geostacionární umělé družice Země. [2]

3.5.2. GLONASS

GLONASS (Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Systema) je Ruský navigační systém měření polohy, rychlosti a času. Do plného provozu byl uveden v roce 1996. Systémový čas odpovídá přibližně UTC + 3 hodiny. Využívá průměrně 5-7 družic. V budoucnu je plánován společný provoz s GPS. Výsledný systém GNSS bude mnohem spolehlivější a sníží se politická a ekonomická závislost uživatelů na provozovateli jednotlivých systémů. [2]

Přesnost určení polohy je okolo 10–20 m. [4]

3.5.3. GALILEO

Systém GALILEO je projekt evropského civilního autonomního GNSS. Má zajišťovat kompatibilitu s GPS i GLONASS. Počet jeho družic je stanoven na 30, z čehož 27 činných a 3 záložní. Stanovené množství družic má zajišťovat dostatečnou spolehlivost. [2]

Družice je plánováno situovat ve třech rovinách po devíti družicích aktivních a jedné záložní. Přesnost systému má být vyšší než 1 m, čím bude systém GALILEO přesnější, než konkurenční GPS, nebo GLONASS. [14]

Vývoj řídí Evropská tripartita. Pozemní infrastruktura systému GALILEO je složena z pozemní části družicového systému EGNOS a jeho stanic. Integrita služeb je zajišťována monitorovacími stanicemi, řídicími centry a stanicemi pro vysílání k družicím. Systém má dvě třídy přístupu. Prvním je řízený přístup CAS (Controlled Acces Service) poskytovaný za poplatky a má sloužit k přístupu garantovaným složkám a bezpečnostním službám. Druhý přístup je otevřený (Open access service). [4]

První satelit systému GALILEO byl vypuštěn ruskou raketou SOJUZ v roce 2011. Sídlo agentury GALILEO je od roku 2012 v Praze, kam byla přestěhována z belgického Bruselu. [16]

Od roku 2016 je systém GALILEO v testovacím režimu. V roce 2019 bylo na oběžné dráze již 26 satelitů a garantovaný plný provoz je plánován po roce 2020. [14]

4. Problematika plánování letu s využitím prostorové navigace

Prostorová navigace RNAV, jak již bylo řečeno v podkapitole 3.4, je navigační metoda, která umožňuje letadlu letět po jakékoliv zamýšlené trati v dosahu referenčních signálů pozemních navigačních zařízení a GNSS, nebo pomocí autonomního navigačního systému, či jejich kombinací. Jde o vstupy z pozemních navigačních zařízení VOR/DME, DME/DME, autonomního systému INS/IRS a satelitních systémů GNSS. Výsledná navigační přesnost je závislá na pokrytí prolétané oblasti a kvalitě přijímaných signálů. [4]

4.1. Optimalizace letu prostorové navigace

V současnosti je nejvýhodnějším a nejrozšířenějším typem navigace RNAV kombinace se systémem optimalizace letu FMS. Využitím těchto systémů je docíleno optimalizovaného automatického řízení celého letu.

Systémy INS/IRS poskytují data systému FMS po dobu, kdy se letadlo nachází mimo dosah pozemních navigačních zařízení. [2]

4.2. Požadavky navigačního vybavení v prostorové navigaci

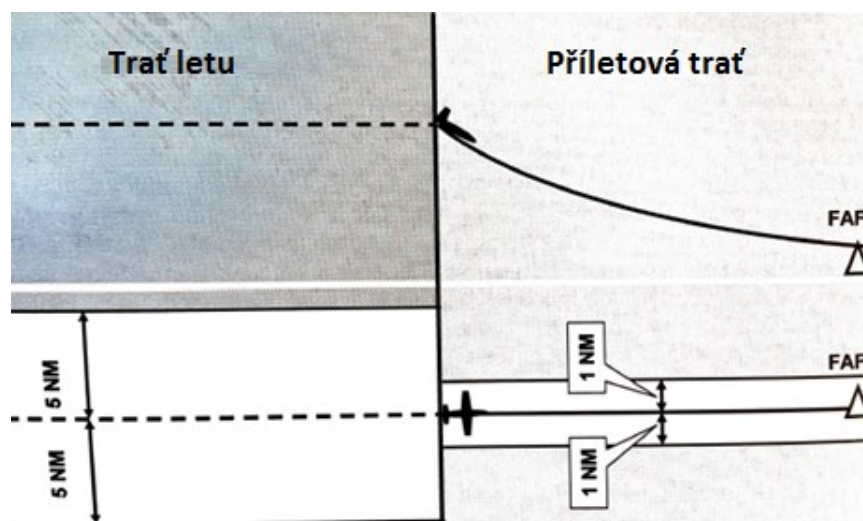
Požadavky na navigační vybavení RNAV jsou děleny dle oblasti využití. Jednotlivé oblasti jsou definovány požadovanou navigační přesností RNP (Require Navigation Performance). [17]

„Požadavek na přesnost je vyjádřen maximální přípustnou hodnotou TSE v námořních mílích po 95 % celkové doby letu daného postupu,“ [17]

Pro lety na trati (En Route) v oblastech evropského vzdušného prostoru platí od r. 1998 požadavek základní navigační přesnosti prostorové navigace B-RNAV (Basic-RNAV). Letadla schválená pro B-RNAV v tomto prostoru musí splňovat požadavek přesnosti RNP 5, nebo vyšší. [17]

Od roku 2001 je v oblastech evropských TMA v platnosti požadavek na využívání přesné prostorové navigace P-RNAV (Precision-RNAV), nebo vyšší. [17] [18]

Na obrázku číslo 18 je přehledně vidět, kde jsou jednotlivé navigační přesnosti využívány a co znamená požadavek na přesnost.



Obrázek 18. Navigační přesnost B-RNAV a P-RNAV
Upraveno dle: Letové postupy a provoz letadel, str. 172

4.3. Navigace založená na výkonnosti PBN

„Navigace založená na výkonnosti je definována jako druh prostorové navigace založené na výkonových požadavcích na letadlo, které se pohybuje po trati ATS v úseku přiblížení na přistání nebo jinak definovaném vzdušném prostoru,“ [17]

Koncept jednotlivých požadavků na navigační výkonnost RNP byl v roce 2008 na 36. shromáždění ICAO nahrazen novou koncepcí navigace založenou na výkonnosti PBN (Performance Based Navigation). Koncept PBN byl zveřejněn v roce 2007 a v roce 2008 spuštěn ve všech fázích letu. Koncept PBN je detailně popsán v ICAO Doc 9613. Na 37. shromáždění ICAO byl stanoven cíl mezinárodní koordinace a harmonizace horních vzdušných prostorů pro globální využití PBN a vychází z mezinárodního měřítka navigačních specifikací. Vývoj a postupy jsou založeny na všeobecném letectví GA, armádě, uživatelích v civilním letectví a leteckých organizacích. [18]

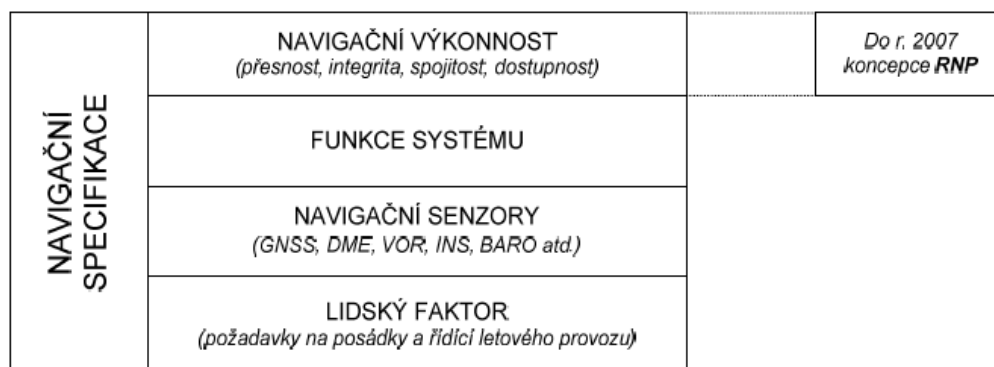
EUROCONTROL přispívá podporou rozvoje konceptu PBN v Evropě na úrovni ICAO. [19]

4.3.1. Všeobecné Specifikace

Všeobecné specifikace jsou zaměřeny na všechny fáze letu, včetně přiblížení. Cílem PBN je maximalizovat přínos a minimalizovat náklady. Je důležité poznamenat, že původní koncept

RNP nezanikl, ale byl rozšířen a modifikován. Původní požadavky na navigační výkonnost RNP jsou integrovány v navigační specifikaci konceptu PBN. [17]

Obrázek číslo 19 přehledně zobrazuje navigační specifikaci PBN, která pokrývá oblast navigační výkonnosti, funkce palubních zařízení a požadavků na výcvik ATC a posádek letadel. Dále ukazuje integraci konceptu RNP do navigační specifikace PBN.



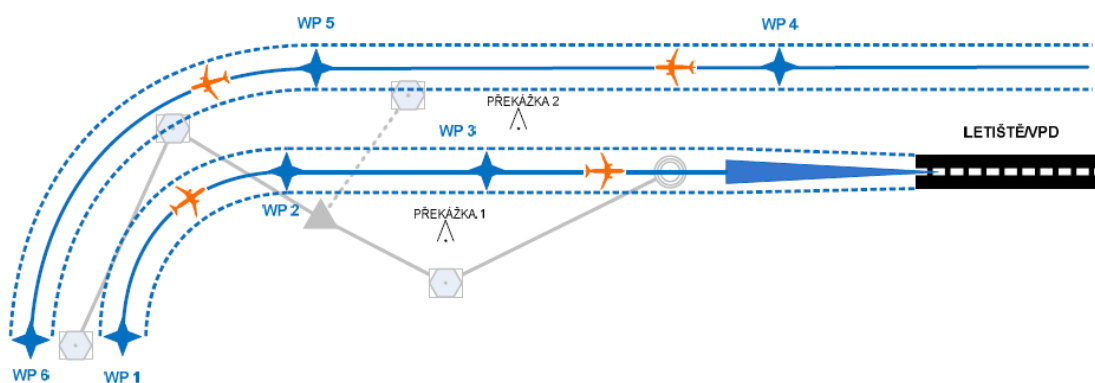
Obrázek 19. Začlenění původní koncepce RNP do filozofie PBN

Zdroj: Disertační práce, Zavedení postupu navigace podle požadavku PBN (Performance Based Navigation) na regionálním letišti, str. 16

4.3.2. Navigační výkonnost a zatáčky

Využitím PBN lze vést letadla s vysokou přesností v zaručeném koridoru, náročném terénu (v údolích, horách) a po zakřivených tratích. [17]

Názorný příklad letu v zaručeném koridoru po zakřivené trati vystihuje obrázek číslo 20.

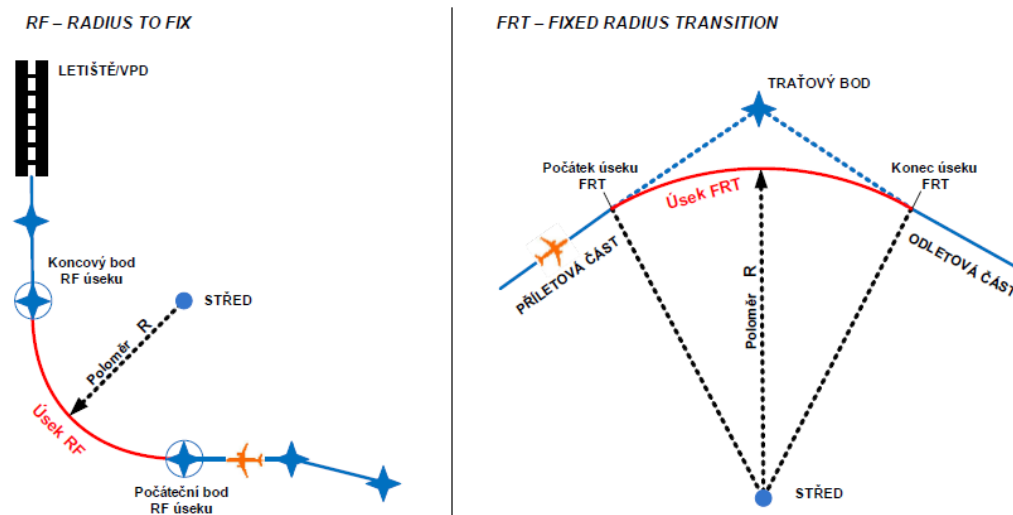


Obrázek 20. Trať letu v zaručeném koridoru po zakřivené trati

Zdroj: Disertační práce, Zavedení postupu navigace podle požadavku PBN (Performance Based Navigation) na regionálním letišti, str. 16

Prostorová navigace RNAV využívá dva druhy zatáček při přeletu traťových navigačních bodů. Jedná se o zatáčku po přeletu (Fly-Over) a zatáčku s předstihem (Fly-By). PBN zvyšuje zatáčky prostorové navigace a umožňuje letět jak předchozí typy, tak dva nové. První typ nové

zátáčky je zatáčka s daným poloměrem mezi počátečním a koncovým bodem RF (Radius to Fix) a je využívána pro operace v TMA a pro všechny fáze přiblížení. Druhý typ nové zatáčky je zatáčka s konstantním poloměrem FRT (Fixed Radius Transition) a je využívána pro traťové aplikace. [17]

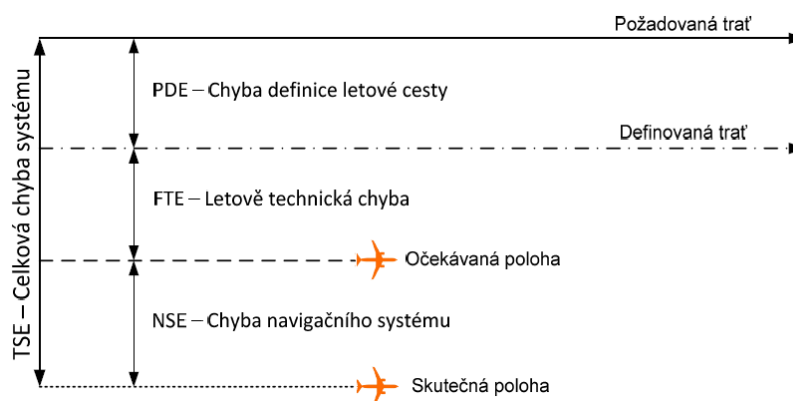


Obrázek 21. Princip zatáček s konstantním poloměrem - RF a FRT

Zdroj: Disertační práce, Zavedení postupu navigace podle požadavku PBN (Performance Based Navigation) na regionálním letišti, str. 19

4.3.3. Celková chyba systému TSE

Přesnost je vyjádřena funkcí celkové chyby systému TSE (Total System Error), která se skládá ze tří komponentů PDE, FTE a NSE. PDE (Path Definition Error) nastává v případě, kdy definovaná trať v RNAV systému vykazuje skutečnou odchylku od tratě. FTE (Flight Technical Error) je vztažena ke schopnosti posádky (autopilota), dodržet definovanou trať. NSE (Navigation System Error) definuje rozdíl mezi očekávanou a aktuální polohou letadla. [17]



Obrázek 22. Komponenty celkové chyby systému TSE

Zdroj: Disertační práce, Zavedení postupu navigace podle požadavku PBN (Performance Based Navigation) na regionálním letišti, str. 17

4.3.4. RNAV a RNP specifikace v PBN

V této části je nutné upozornit na pojem RNAV. Nejedná se o prostorovou navigaci RNAV, ale o její specifikaci, která je stejně pojmenovaná.

Cílem koncepce PBN je bezpečnost, navýšení kapacity vzdušného prostoru, minimalizace zásahu na životní prostředí a celková efektivita letu. Pro maximální využitelnost nové koncepce je důležitá implementace PBN v celém světě. Za tímto účelem vydalo ICAO dokument GANP (Global Air Navigation Plan) s cílem implementace specifikací RNAV a RNP do celého světa. [20]

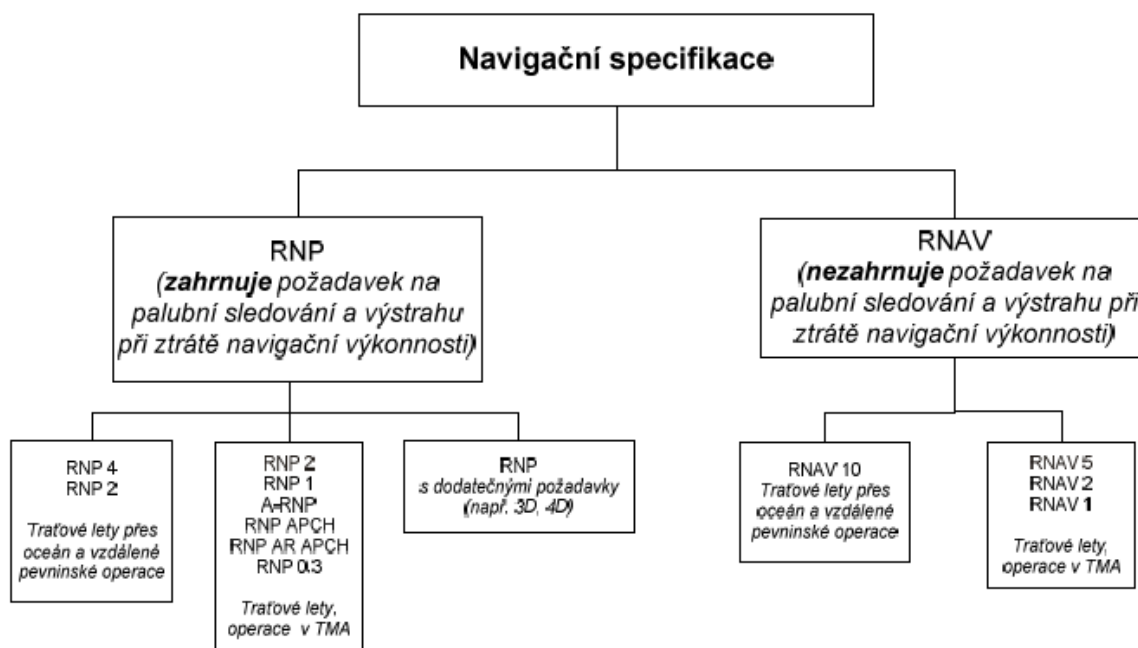
Koncept PBN je rozdělen do dvou hlavních navigačních specifikací. Jedná se o specifikace RNAV a RNP. Liší se v požadavku na palubní sledování a varování při ztrátě požadovaného navigačního výkonu TSE. Specifikace RNP tímto doplňkem disponuje. RNAV ne.

Navigační specifikace všech postupů, vyjma postupů ve fázích přiblížení se označují typem navigační specifikace a číslem označující požadovanou přesnost (RNAV1, RNP4). Specifikace využívané pro fáze přiblížení jsou označeny místo číselných hodnot zkratkou definující typ přiblížení (RNP APCH).

Specifikace RNAV jsou využívány v oblastech s kvalitní službou ATC a dostatečným pokrytím přehledovými radary. Specifikace RNP jsou využívány v oblastech s horším pokrytím radarovými službami a ve fázích přiblížení s vertikálním vedením APV (Approach Procedures with Vertical Guidance), kde je potřeba vysoké navigační výkonnosti z pohledu přesnosti a integrity. [17]

Do budoucna je plánováno využití pouze RNP specifikací s podporou GNSS. Specifikace RNAV nebudou dále rozvíjeny. [18]

Na obrázku číslo 23 vidíme přehledné rozdělení navigačních specifikací.



Obrázek 23. Členění navigační specifikace PBN

Zdroj: Disertační práce, Zavedení postupu navigace podle požadavku PBN (Performance Based Navigation) na regionálním letišti, str. 20

PBN obsahuje čtyři specifikace RNAV a sedm specifikací RNP. RNAV využívá tři specifikace pro kontinentální traťové lety a lety v TMA (RNAV 5, RNAV 2, RNAV 1) a jednu specifikaci RNAV 10 pro oceánské a vzdálené pevninské lety. RNAV 10 je určena pouze pro lety s podporou satelitních, či autonomních navigačních systémů. RNAV 5 nahrazuje B-RNAV, která byla v evropském vzdušném prostoru povinná pro lety nad FL 95. Náhrada je plnohodnotná a bez jakýchkoliv rozdílů. Pro lety dle RNAV 5 je využívána podpora pozemních zařízení (VOR/DME, DME/DME), autonomních (INR, IRS) a satelitních navigačních systémů GNSS. Specifikace RNAV 2 a RNAV 1 nahrazuje s některými rozdíly P-RNAV a americké US-RNAV (Type A, Type B). Jsou určeny pro postupy SID, STAR a úseky počátečního a středního přiblížení v TMA. Navrženy jsou pro zabezpečení pomocí pozemních navigačních zařízení DME/DME (P-RNAV využívala i VOR/DME), autonomních systémů a satelitní navigace GNSS. [17]

Následující tabulka zobrazuje přijatelné senzory dle ICAO PBN manual, upravenou pro evropské vzdušné prostory. Růžová pole značí povinná čidla schopnosti letadel a čidla využívající poskytovatelé letových navigačních služeb ANSP (Air Navigation Services Provider). Šedá pole značí volitelné senzory. [20]

NAV SPEC	NAVAID				
	GNSS	IRU	DME/ DME	DME/ DME/ IRU	VOR/ DME
RNAV 10	✓	✓			
RNAV 5	✓	✓	✓		✓
RNAV 2 & 1	✓		✓	✓	
RNP 4	✓				
RNP 2	✓		✓	✓	
RNP 1	✓		✓	✓	
Advanced RNP	✓		✓	✓	
RNP APCH APV Baro	✓				
RNP APCH APV SBAS	✓ + SBAS				
RNP AR APCH	✓				
RNP 0.3	✓				

Obrázek 24. Přehled navigačních senzorů využívaných u jednotlivých specifikací

Zdroj: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/article/content/documents/navigation/european-ac-handbook-pbn-implement-2013-web.pdf>, str. 21

RNP využívá sedm specifikací rozdělených do tří kategorií. První kategorie je využívána pro různé traťové aplikace a postupy standardních přístrojových odletů (RNP 4, RNP 2, RNP 1). Druhá kategorie je využívána pouze pro přiblížení na přistání (RNP APCH, RNP AR APCH). Třetí kategorií je RNP 0,3 určená pro vrtulníky.

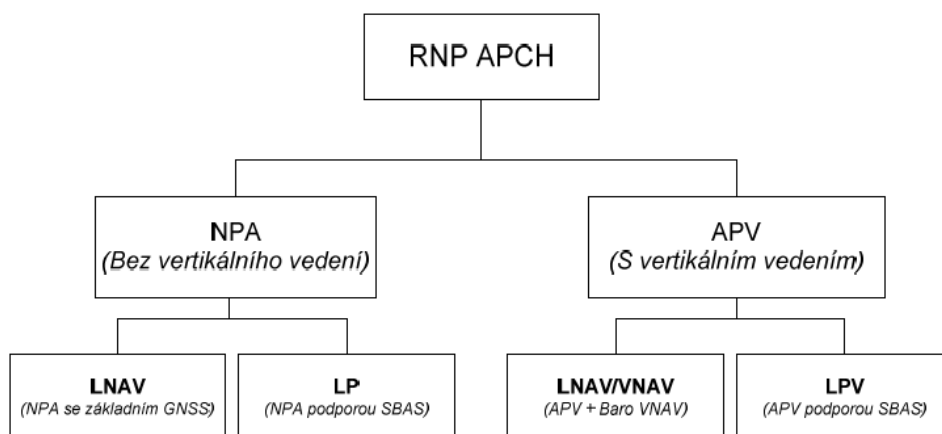
Speciální případem specifikace využívané pro všechny fáze letu je A-RPN. [17]

Specifikace RNP 4 je využívána v odlehlých kontinentálních a oceánských oblastech. Lety dle RNP 4 využívají družicovou navigaci GNSS a musejí být vybaveny duálním nezávislým navigačním systémem na dlouhé vzdálenosti. RNP 2 je určena pro rozmanité traťové aplikace kontinentálních a oceánských letů s omezeným pokrytím přehledovými službami a nízkou až střední hustotou provozu. RNP 1 je vyhrazena pro využití v TMA s nízkou, nebo střední hustotou provozu a omezeným pokrytím přehledovými službami. RNP 1 je využívána pro SID a STAR ve fázích počátečního a středního přiblížení. Specifikace je založena na využití GNSS. [17]

RNP APCH je specifikace využívána pro úseky počátečního, středního a přímého konečného přiblížení na přistání. Specifikace je založena na základním, či rozšířeném GNSS. RNP APCH umožňuje nepřesná přístrojová přiblížení bez vertikálního vedení NPA a skupinu přiblížení s vertikálním vedením APV. [17]

Do kategorie NPA patří LNAV. Systém je založen na využití GPS. Dalším typem NPA je APCH LP (Localizer Performance), který je založen na využití GPS, EGNOS a SBAS. [17]

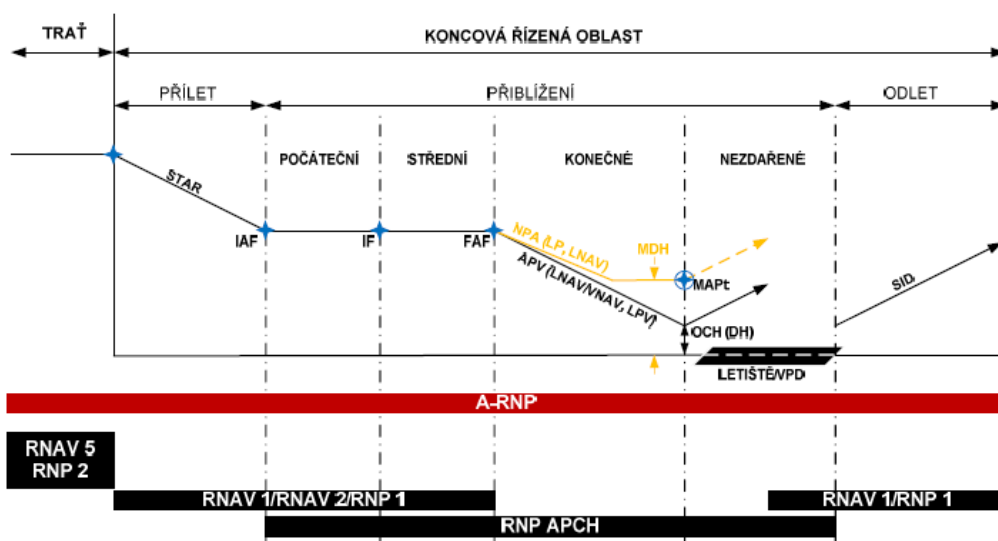
Do kategorie APV patří LNAV/VNAV, které je založeno na využití GPS a BARometric VNAV. Druhým typem APV je LPV, využívající GPS a EGNOS (APV SBAS). [18]



Obrázek 25. Druhy přiblížení RPN APCH

Zdroj: Disertační práce, Zavedení postupu navigace podle požadavku PBN (Performance Based Navigation) na regionálním letišti, str. 24

A-RNP (Advanced RNP) je nejnovější navigační specifikace pro všechny fáze letu, včetně fáze konečného přiblížení. Specifikace A-RNP odpovídá RNAV 5, 2, 1 a RNP 2, 1, APCH. [17]



Obrázek 26. Pokrytí jednotlivých fází letu specifikací A-RNP

Zdroj: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/2013-introducing-pbn-a-rnp.pdf>, str. 13

4.4. Snížení minim vertikálních rozestupů RVSM

Letadla létající ze západu na východ využívají liché letové hladiny a z východu na západ hladiny sudé. Letadla létající nad převodní hladinou využívají jednotlivé letové hladiny oddělené vertikálně o 1000 ft do FL 290. Nad FL 290 byly vertikální rozestupy v tradičních prostorech CVSM (Conventional Vertical Separation Minimum) 2000 ft z důvodu nezpůsobivosti v přesnosti dodržování požadované hladiny.

Zavedením RVSM (Reduced Vertical Separation Minimum) bylo umožněno snížení minim vertikálních rozestupů z původních 2000 ft na 1000 ft mezi FL 290 – FL 410 včetně. RVSM je v Evropě platné od roku 2002. Je součástí B-RNAV a PBN. Kapacita provozu v oblasti zavedení RVSM se zdvojnásobila. Zároveň RVSM umožnilo volbu optimálnější letové výšky a s ní spojenou úsporu paliva. [21] [22]

4.5. Vzdušný prostor volných tratí FRA

S rozvojem letecké dopravy vzniká v poslední době tlak na letecké dopravce a subjekty s ní spojené v oblasti zvyšování ekonomičnosti letů a snižování jejich dopadů na životní prostředí. Tato situace podnítila několik evropských států, poskytovatelů leteckých navigačních služeb a letecké společnosti pro návrh nového konceptu vzdušného prostoru. Výsledkem spolupráce byl návrh a vývoj konceptu volných tratí FRA. [23]

4.5.1. Koncept

Prostor volných tratí FRA je specifický vzdušný prostor, kde mohou letadla létat mezi definovanými vstupními a výstupními body mimo klasické publikované tratě ATS. Vstupní a výstupní body jsou body prostorové navigace, využívané v blízkosti hranic jednotlivých sektorů. Lety jsou přímější a kratší. [23]

Celý prostor volných tratí staví na technologiích CNS splňující specifické požadavky nového konceptu. Jde o funkčnost systému, integrovanost a harmonizaci. Důležitou podmínkou FRA je zajištění dostatečné separace letadel. [13]

4.5.2. Právní podklad

Vytvoření konceptu FRA předcházela celá řada nařízení a opatření vydávaná v jednotlivých dokumentech. V následujících odstavcích budou nejdůležitější dokumenty popsány.

Flight efficiency plan je dokument vytvořený spoluprací organizací IATA, CANSO a EUROCONTROL s jednotlivými leteckými dopravci, letišti a poskytovateli leteckých navigačních služeb. Jedním z cílů dokumentu je vyřešení problémů a hledání východisek vedoucí k úspoře paliva a snížení množství emisí. Dalším cílem bylo zlepšit řízení a upravit evropský vzdušný prostor ve spojitosti s projektem Jednotného evropského nebe SES (Single European Sky). Podle odhadů by měl výsledný obsah dokumentu každoročně ušetřit dopravcům 470 000 tun paliva v ekvivalentní hodnotě 390 miliónu EUR a snížit emise CO_2 o 1,5 miliónu tun. Dokument obsahuje strategické body vedoucí ke zlepšení rozdělení vzdušného prostoru prostřednictvím pravidelných úprav ATS, zefektivnit využití vzdušného prostoru včetně TMA a optimalizovat letištní provoz. V neposlední řadě se dokument stal zrodem spolupráce pro realizaci FRA.

Obsahem dokumentu European ATS Route Network (ARN) verze 6 je přehled projektů mezi lety 2008-2010 zaměřujících se na strukturální změny evropských tratí letových provozních služeb, informuje o efektivitě implementace činností schválených v dokumentu Airspace Action Plan a zahrnuje informace v souvislosti s FRA. Bylo odhadnuto, že změny tratí ATS zahrnuté v dokumentu ARN 6 měly v letech 2008-2010 výrazně zkrátit uletěnou vzdálenost o 11,8 miliónu NM, snížit spotřebu paliva leteckým dopravcům o 71 tisíc tun v ekvivalentní hodnotě 60 miliónu EUR a snížit množství emisí o 240 tisíc tun.

Dokument European ATS Route Network (ARN) verze 7 obsahuje přehled o plánovaném vývoji a úpravě struktury sítě evropských tratí pro období 2011-2014. Dále zahrnuje informace související s FRA, včetně implementace nočních přímých letů do FIR Praha.

Nařízení EK 677/2011 je základním právním dokumentem vydaným komisí EU pro zavedení FRA. Dokument stanovuje cíl pro uspořádání letového provozu s umožněním optimálního využití vzdušného prostoru Jednotného evropského nebe. [23]

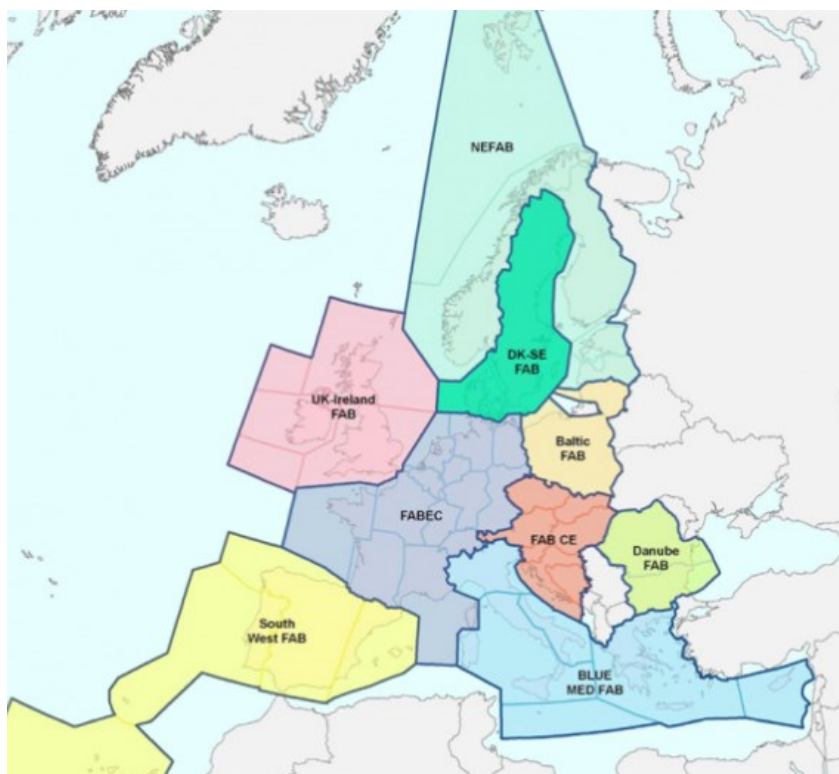
4.5.3. Implementace

Povinností každého státu je stanovit plán implementace vycházejícího z nařízení Evropské komise č. 716/2014. Implementační plán zahrnuje postupné kroky k plynulému přechodu mezi stávajícím vzdušným prostorem konvekčních tratí ATS a prostorem FRA. Jednorázové zavedení FRA by mohlo mít negativní vliv na propustnost vzdušného prostoru. Postupná implementace má za cíl zlepšit předvídatelnost a minimalizaci potencionálních rizik. [24]

Prvním krokem je spuštění FRA v časově omezeném provozu, zejména v noci. Jedná se o přechodný krok usnadňující včasnou realizaci s umožněním vyhodnocení dané oblasti za současné minimalizace bezpečnostních rizik. Další možností je případné zavádění FRA v daném prostoru, kdy jsou strukturální, či geografická omezení. Jedná se o stanovené omezené využití, například jen v horním vzdušném prostoru, nebo využitím omezujících podmínek pro využívání vstupních a výstupních bodů. Druhým krokem je realizace funkčních bloků vzdušných prostorů FAB (Functional Airspace Blocks), kde by měli ATC zacházet s prostorem FAB jako s jedním velkým FIRem. Třetím krokem zavádění FRA je plná implementace prostoru do rámce projektu SES, což je posledním krokem a cílem projektu FRA v Evropě. [25]

FAB je vzdušný prostor s vylepšenou spoluprací mezi poskytovateli letových navigačních služeb. Největší benefit prostoru spočívá v maximální efektivnosti plánovaných tratí z pohledu uletěné vzdálenosti, než by tomu bylo při přelétání jednotlivých prostorů využívající FRA v jednotlivých státech. Let by musel být plánován přes množství vstupní a výstupní bodů jednotlivých států. [26]

Na obrázku číslo 27 je vidět mapa všech devíti plánovaných prostorů FAB.



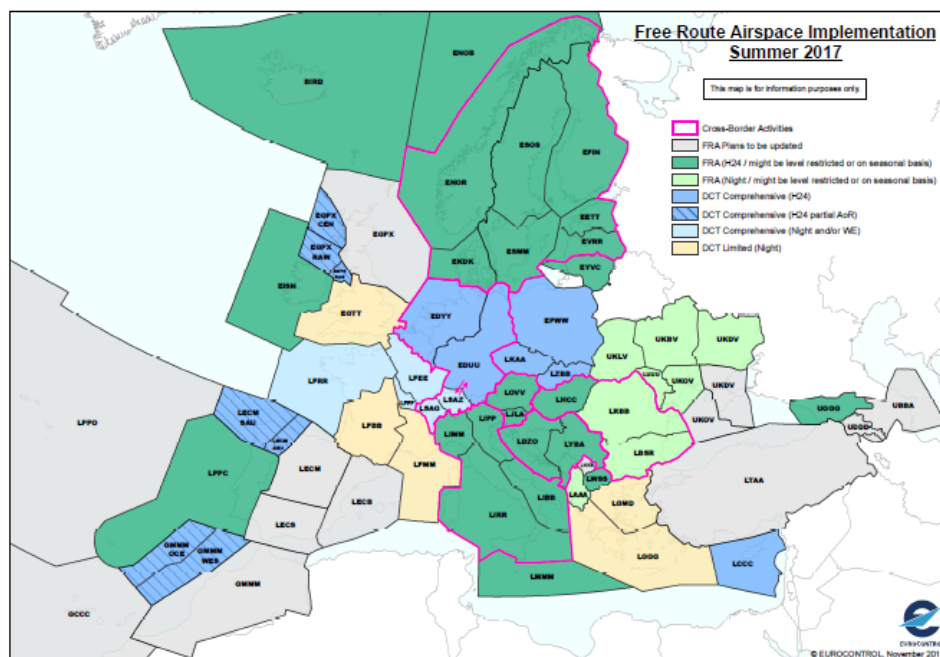
Obrázek 27. Prostory FAB v evropském regionu

Zdroj: [https://www.skybrary.aero/index.php/Functional_Airspace_Block_\(FAB\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Functional_Airspace_Block_(FAB))

První fáze implementace FRA byla uskutečněna v roce 2007. Do role koordinátora nového konceptu byl posvěcen EUROCONTROL. Díky jeho podpoře se FRA začal postupně zavádět do jednotlivých států při zachování integrity celého konceptu na evropské úrovni. [23]

FRA je stále ve fázi postupného zavádění. Na konci roku 2016 byl vzdušný prostor FRA alespoň částečně implementován v celkem 48 oblastních střediscích řízení, což předčilo původní záměr projektu Network Performance Manager Plan, který odhadoval zavedení v 35 oblastních střediscích řízení. [24]

Fáze implementace FRA v jednotlivých evropských státech v roce 2017 je vidět na obrázku číslo 28.

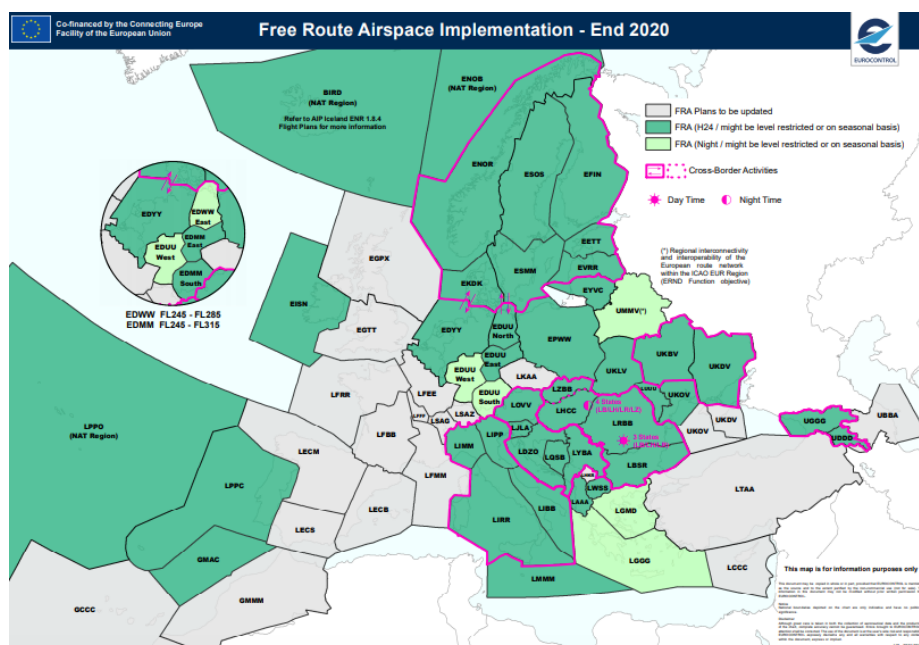


Obrázek 28. Implementace FRA v evropském prostoru v roce 2017

Zdroj: Diplomová práce, Implementace vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha, str.7

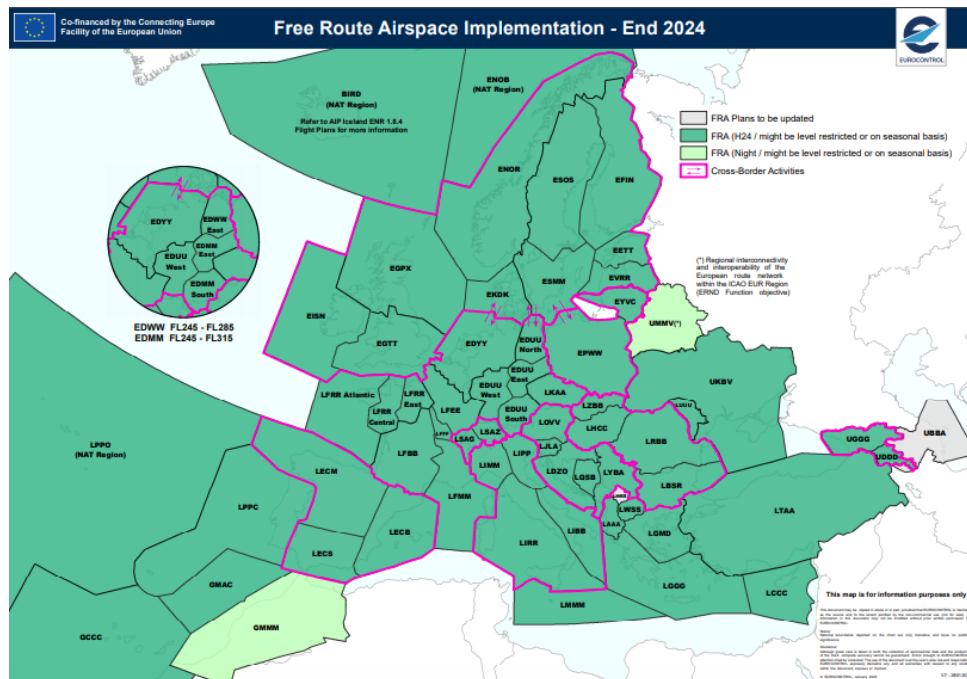
Bylo odhadnuto, že do roku 2019/2020 měla být očekávaná úspora uletěné vzdálenosti mezi 60 000 – 75 000 NM.

Implementaci do konce roku 2020 vystihuje obrázek číslo 29. [24]



Obrázek 29. Plánované implementace FRA v Evropském vzdušném prostoru do konce roku 2020

Zdroj: <https://www.eurocontrol.int/publication/free-route-airspace-fra-implementation-projection-charts>

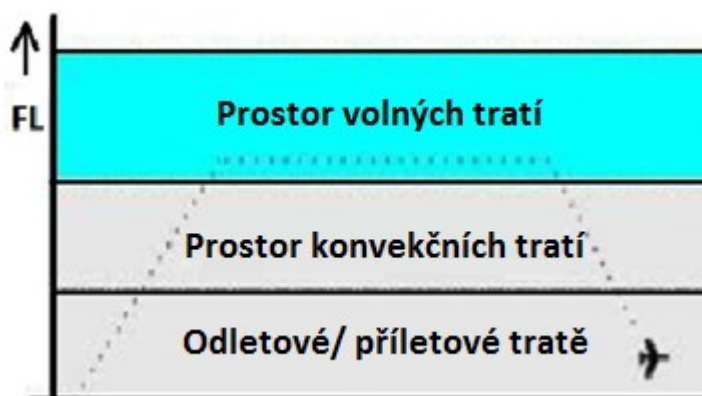


eurocontrol.int/publication/free-route-airspace-fra-implementation-r

Vzdušný prostor je dle ICAO dělen do 7 kategorií. Jednotlivé kategorie jsou označeny velkým písmenem od A po G. Každý členský stát ICAO má možnost volby, které prostory bude ve svém vzdušném prostoru provozovat. V České republice jsou zřízeny prostory čtyři (C, D, E a G). Členské státy EU mají oproti nařízení ICAO ve svých vzdušných prostorech další zpřísnující nařízení. Státy EU musejí mít například nad FL 195 zavedený vzdušný prostor třídy C. [28]

Prostor FRA je vymezen horizontálními a vertikálními hranicemi publikovanými v AIPu jednotlivých států. Z pravidla je FRA klasifikován jako horní vzdušný prostor třídy C. Důležitou podmínkou zavádění FRA je harmonizace se vzdušnými prostory okolních států, ve kterých je FRA implementován částečně, nebo vůbec. Z tohoto důvodu byla vydána doporučení ke stanovení horizontálních a vertikálních hranic vzdušných prostorů. Doporučení pojednávají o nejnižší použitelné letové hladině v závislosti na složitosti vzdušného prostoru a jeho předpokládané kapacitě. Dále bylo doporučeno prodloužit SID, STAR a jsou plánované strukturální změny v jednotlivých TMA. Požadavek na horizontální hranice má být založen na provozních požadavcích, nikoliv na hranicích jednotlivých států. [24]

Na obrázku číslo 31 lze vidět rozložení vzdušného prostoru konvekčních a volných tratí.



Obrázek 31. Koncept vzdušného prostoru s implementací FRA

Upraveno dle: Bakalářská práce, Změna provozních postupů při přechodu na Free route Airspace, str. 39

4.5.5. Vztah FRA k zakázaným, nebezpečným a omezeným prostorům

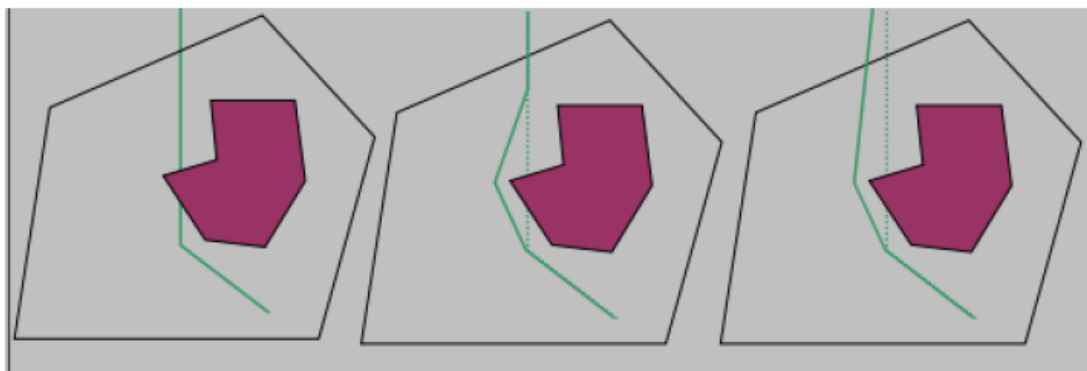
V letectví je využíváno několik typu prostorů, omezujících nebo zakazujících leteckou činnost v jejich oblasti. Jedná se o prostory zakázané, omezené, nebezpečné, dočasně rezervované a dočasně vyhrazené.

Zakázaný prostor P (Prohib Area) je vymezený vzdušný prostor, ve kterém jsou lety zakázané. Výjimku tvoří lety schválené příslušným úřadem a lety policejní, záchranné, pátrací a hasičské za účelem vykonání jejich činnosti pro ochranu a záchranu obyvatelstva. Omezený vzdušný prostor R (Restrict Area) je vymezený vzdušný prostor, ve kterém jsou při jeho aktivaci lety omezeny bez předem získaného schválení příslušným úřadem. Nebezpečný prostor D (Dangerous Area) je vymezený vzdušný prostor, kterému je doporučeno se vyhnout. Může zde být riziko nebezpečné pro let, jako vypouštění plynů, nebo likvidace výbušnin.

Dočasně rezervovaný prostor TRA je vymezený vzdušný prostor, v němž může probíhat pouze letecká činnost a do kterého je v době jeho aktivace zákaz průletu bez zvláštního oprávnění. Dočasně vyhrazený prostor TSA je vymezený vzdušný prostor, v němž může probíhat pouze oprávněná letecká činnost a kde je v době jeho aktivace zákaz průletu. Dočasně rezervovaný prostor je vzdušný prostor, kdy se specifické informace k příslušnému prostoru dozví posádka prostřednictvím NOTAMu, nebo AIP SUP. [29]

Jednotlivé tratě FRA mohou být časově či vertikálně omezeny z důvodu křížování těchto prostorů. Pro případ nemožnosti prolétnout daným prostorem, musí ATC zajistit bezpečný rozestup mezi letadlem a daným prostorem. Zajištění rozestupu je možné změnou kurzu, nebo přesměrováním letu přes vnitřní traťové body. [24]

Možné změny tratě okolo aktivního prostoru TSA jsou znázorněny na obrázku číslo 32.



Obrázek 32. Možné změny tratě okolo aktivního prostoru TSA

Zdroj: Bakalářská práce, Změna provozních postupů při přechodu na Free Route Airspace, str.34

4.5.6. Plánování letu

Současné plánování po pevných tratích je značně složité. Příchodem FRA se plánování zjednodušuje. Pro zajištění plynulého a bezpečného provozu v prostoru FRA je nutné, aby byly všechny letové plány dostupné s aktuálními informacemi pro zainteresované orgány jako jsou stanoviště ATC a armáda. Let ve vzdušném prostoru FRA je možné plánovat libovolně přes publikované a nepublikované body. Publikované body jsou definovány zeměpisnými souřadnicemi. Nepublikované body jsou taktéž určeny zeměpisnými souřadnicemi, nebo vzdáleností a směrníkem od publikovaných bodů. Úsek přímého letu mezi jednotlivými body musí být v letovém plánu označen zkratkou DCT (Direct) dle ICAO Doc 4444. Všechny publikované i nepublikované body mohou být využity v letovém plánu k plánované změně letové hladiny. Systém kontroly plánovaných letů IFPS (Initial Flight Plan Processing System) posuzuje, zda plánovaný let vyhovuje požadavkům na platné vstupní a výstupní body, vyhovuje návaznosti na SID, STAR, plynule navazuje přechod tratí z FRA na konvekční tratě a opačně a je plánován v platném časovém rozmezí. [24]

4.5.7. Změny pro řízení letového provozu

Koncept FRA přináší množství změn a požadavků, které se významně dotýkají ATC, zejména při vyhledávání a řešení konfliktních situací. Za tímto účelem jsou vytvářeny nové nástroje nezbytné pro navýšení kapacity letového provozu při zachování efektivního vytížení jednotlivých ATC. Cílem je minimalizovat konfliktní situace s případnou úpravou trajektorií letu. Současné nástroje sloužící k indikaci konfliktu mezi letadly nejsou vyvinuty v takovém měřítku, aby nedocházelo k občasným konfliktním situacím vlivem nedostatečné vybavenosti systémů. Prostor FRA je výhodný pro posádky i řídící letového provozu, jelikož posádky

nemusí oznamovat hlásné body a frekvence je díky tomu méně zahlcena. Dále je sníženo množství konfliktních míst, jelikož konvekční tratě jsou vedeny přesnými koridory s univerzálními WPT. Tyto body jsou v koncepci FRA eliminovány a tratě jsou více rozprostřeny. Zároveň to přináší i problém, jelikož konfliktní místa mohou vznikat libovolně v prostoru, ovšem v menším měřítku. [25]

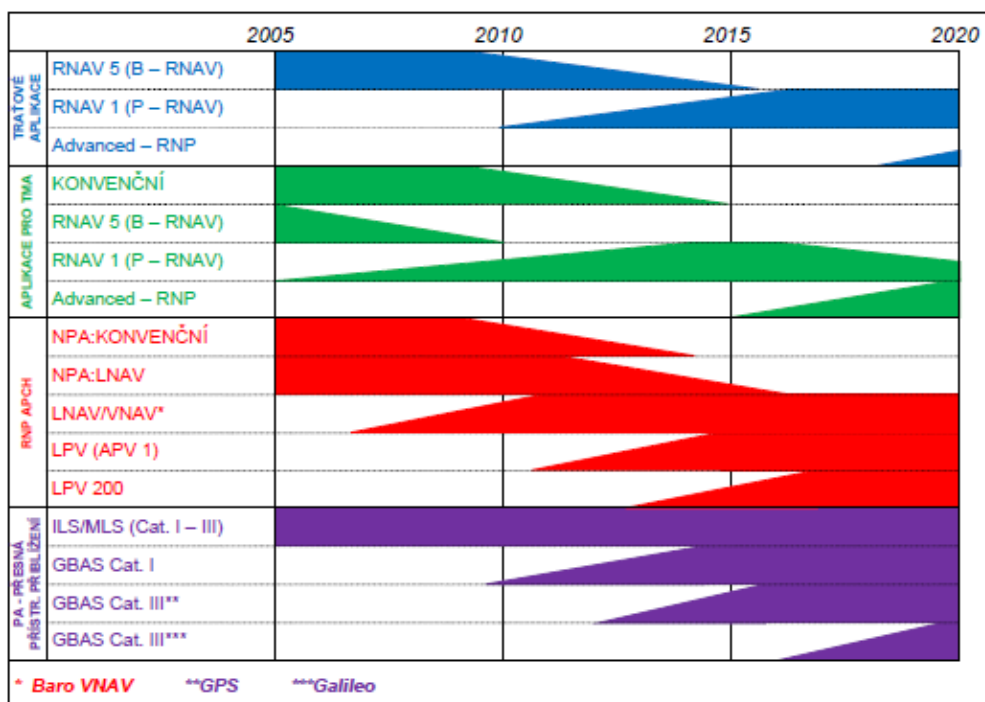
5. Přehled o aktuálním využívání prostorové navigace ve světě

Využívání nových systémů prostorové navigace ve světě má rostoucí trend. Do provozu jsou neustále zaváděny moderní technologie, jako například evropský družicový systém GALILEO. Technologický rozvoj zabezpečují a po právní stránce zajišťují nejrůznější letecké organizace jako ICAO, IATA, CANSO, EASA, EUROCONTROL, ECAC a SESAR.

5.1. Přehled o aktuálním využívání prostorové navigace v Evropě

V celém evropském prostoru je využívána prostorová navigace. Traťové aplikace a lety v TMA, včetně SID a STAR jsou založeny na B-RNAV (RNAV 5) a P-RNAV (RNAV 1, RNAV2). Vývoj je založen na využití GNSS pro všechny fáze letu. Dále je snaha o harmonizaci Jednotného evropského nebe s postupnou implementací FRA do všech členských států. RVSM je využíváno v celém evropském prostoru. [17]

Implementace PBN v evropském prostoru, včetně harmonogramu zavádění a ukončení jednotlivých navigačních specifikací je graficky znázorněno na obrázku číslo 33.



Obrázek 33. Implementace PBN v evropském vzdušném prostoru

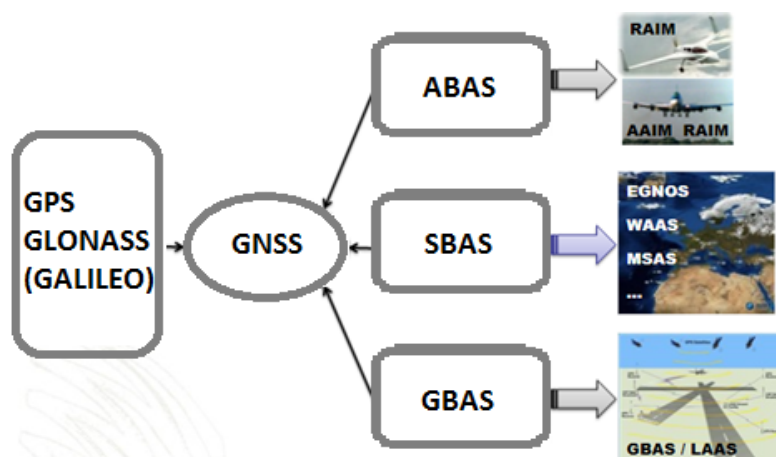
Zdroj: Disertační práce, Zavedení postupu navigace podle požadavku PBN (Performance Based Navigation) na regionálním letišti, str. 30

5.2. Přehled aktuálního využívání prostorové navigace ve Světě

Globální družicový systém GNSS v zastoupení GNSS 1 a GNSS 2 pokrývají oblast celého světa.

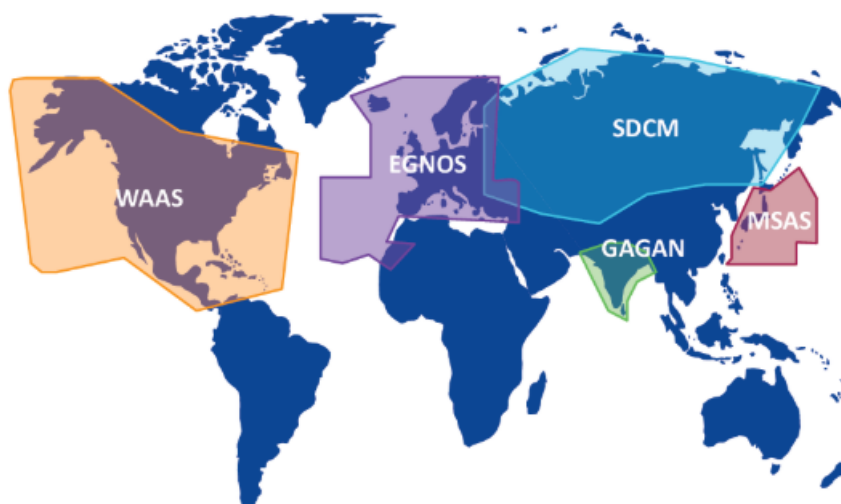
PBN obsahující specifikace RNAV a RNP implementovaná v Evropě je plánovaná v globálním měřítku. [17]

Na následujícím obrázku číslo 34 můžeme vidět pozice systémů ABAS, SBAS a GBAS v GNSS.



Obrázek 34. Systémy ABAS SBAS a GBAS v GNSS
Upraveno dle: <https://slideplayer.com/slide/8928701/>, str. 3

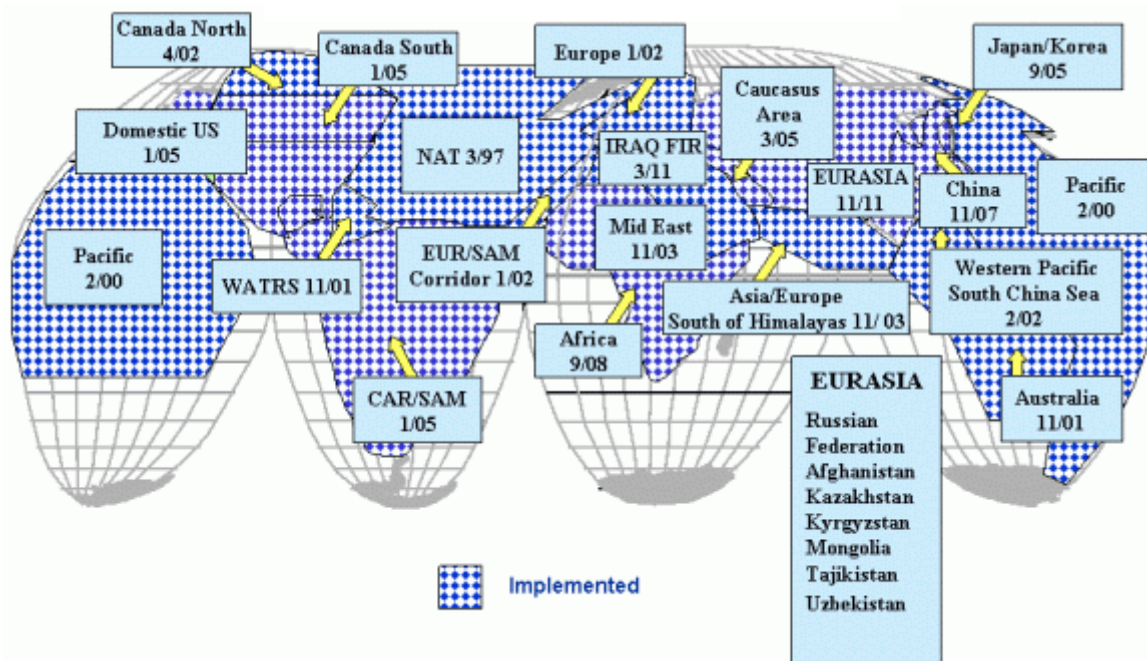
Celosvětový provoz v dnešní době využívaných rozšiřujících systému SBAS vystihuje obrázek číslo 35. Zobrazeny jsou rozšiřující systémy WAAS, EGNOS, SDCM, GAGAN a MSAS.



Obrázek 35. Pokrytí světa rozšiřujícími systémy SBAS
Zdroj: <https://www.qsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss/what-sbas>

RVSM je ve světě implementováno od roku 2002. [21]

V dnešní podobě, tedy pokrývající prakticky celý svět je od roku 2011, kdy byla implementována poslední oblast a to Rusko. Dnešní podoba je zobrazena na obrázku číslo 36.



Obrázek 36. Implementace RVSM ve světě od roku 2011

Upraveno dle: <https://www.michael-hanke.de/RVSM/introduction.htm>

6. Kvantifikace ekonomických a ekologických přínosů letů využívajících prostorovou navigaci

Kapitola 6 se zabývá ekonomickými a ekologickými přínosy evropských letů prostorové navigace využívající moderní koncepce volných tratí FRA oproti konvekčním tratím ATS a letům za podmínek RVSM.

Uspořádání letového provozu ovlivňuje uletěnou vzdálenost, cestovní výšku, rychlost letu a celkovou efektivitu jednotlivých letů. Těmto letovým aspektům odpovídá množství spáleného paliva, množství vyprodukovaných skleníkových plynů, další plyny vystupující z motorů a nepříznivý hluk leteckých motorů. Vliv letectví na životní prostředí se od roku 1960 výrazně zlepšil. V roce 2012 bylo uskutečněno na 9,5 miliónu evropských letů a dle odhadů jich bude v roce 2035 téměř 14,4 miliónu. Úkolem odpovědných orgánů je splnit tento očekávaný nárůst a zároveň minimalizovat škodlivý dopad na životní prostředí. [30]

Na následujícím obrázku číslo 37 můžeme vidět odhady denních úspor vydané EUROCONTROLEM po úplné implementaci FRA.



Obrázek 37. Odhadované denní úspory po plné implementaci FRA
Upraveno z: <https://www.eurocontrol.int/concept/free-route-airspace>

6.1. Evropské projekty

Mezi nejvýznamnější evropské projekty zaměřené na minimalizaci ekonomických a ekologických dopadů řadíme projekty SES a SESAR.

6.1.1. Jednotné evropské nebe SES

Jednotné evropské nebe SES je významným projektem Evropské komise v oblasti letecké dopravy. Počátek jednotného evropského nebe je datován do roku 1999. Hlavním cílem jednotného evropského nebe je zdokonalení stávajících norem, bezpečnosti v letovém provozu, zajištění udržitelnosti rozvoje systémů letecké dopravy a celkové zlepšení výkonnosti systémů uspořádání letového provozu a letových navigačních služeb pro všeobecný letový provoz v Evropě při splnění požadavků všech jeho uživatelů. Důležitý milník byl rok 2004, kdy Evropský parlament a rada Evropské unie stanovily formou legislativy pevný základ pro

bezpečný systém uspořádání letového provozu. Cílem bylo navýšení kapacity a propustnosti vzdušného prostoru při zachování vysokého stupně bezpečnosti a maximalizace kvality poskytovaných služeb. [31]

6.1.2. Projekt SESAR

Projekt SESAR (European Sky ATM Research) je technologickým pilířem SES. Jde o stěžejní práci společného podniku SESAR, zřízeného v roce 2007 nařízením Rady Evropy (ES) č. 219/2007. Podnik SESAR sídlí v Bruselu a je zaměřen na partnerství, udržitelnost, přínosy pro uživatele vzdušného prostoru a zajišťuje koordinaci veškerého výzkumu a vývoje v oblasti ATM (Air Traffic Management). Jeho práce spočívá v modernizaci evropského systému řízení letového provozu zvýšením jeho kapacity, bezpečnosti a snížením nákladů a dopadů na životní prostředí. [32] [33]

Cílem projektu SESAR je schopnost zvládnout trojnásobný růst letecké dopravy v Evropě, desetinásobné zvýšení bezpečnosti, snížení negativního dopadu na životní prostředí až o 10% na jednotlivý let a omezení nákladů o polovinu související s uspořádáním letového provozu. [32] [33]

6.2. Ekonomické přínosy

Prostor volných tratí je v dnešní době využíván ve třech čtvrtinách evropského vzdušného prostoru a pro využití jeho maximálního benefitu je plánováno pokrýt celou Evropu tímto vzdušným prostorem, jak v horních vzdušných prostorech, tak v dolních. [34]

V současnosti je délka jedné trasy letu v průměru o 20 km delší, než je nejpřímější trať (ortodromická) mezi místem odletu a příletu. Pro snížení uletěné vzdálenosti je výhodné využít FRA, který umožňuje leteckým společnostem létat po neoptimálnějších tratích z hlediska časové a palivové efektivity. [35].

Denní úspory využitím FRA činily v polovině roku 2016 přibližně 30 000 NM. Od vzniku FRA bylo ušetřeno celkem 84 miliónů NM, 500 tisíc tun paliva, snížení emisí o 1,68 miliónů tun a 420 miliónů EUR.

6.2.1. Oblast SECSI

Pro názorný příklad můžeme uvést, že v roce 2018 byl FRA implementován do oblasti SECSI (Rakousko, Slovinsko, Chorvatsko, Bosna a Hercegovina a Srbsko). SECSI je přechodná

oblast po dobu, než budou všechny státy plánovaného FAB CE (Viz kap. 7.2.3.) plně využívat FRA. Implementovaná oblast SECSI umožňuje využití nejkratších tratí letů z oblastí střední Evropy do jihovýchodní Evropy a opačně. Odhadované denní úspory pro tratě skrze tyto oblasti jsou 1 940 NM, 285 letových minut, snížení spotřeby paliva o 8 tun a snížení emisí CO_2 o 25,5 tun. [37] [38]

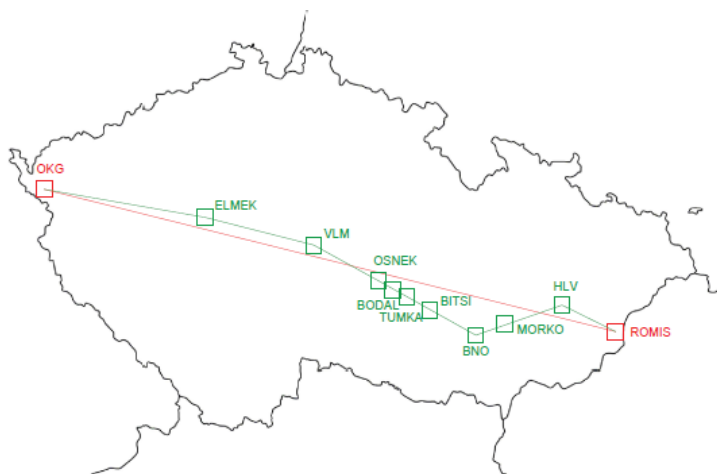


Obrázek 38. Oblast SECSI

Zdroj: <https://www.rocketroute.com/product/secsi-fra-chart>

6.2.2. Zkrácení tratě letu v oblasti LKAA

Pro názornou ukázkou úspory uletěné vzdálenosti jsme zvolili trať OKG-ROMIS, v prostoru České republiky. Na obrázku níže vidíme dvě tratě. Trať označená červenou barvou je trať DCT mezi dvěma hraničními body ČR využívající FRA a zelená trať je konvekční trať s traťovými body OKG, ELMEK, VLM, OSNEK, BODAL, TUMKA, BITS, BNO, MORKO, HLV a ROMIS. [24]



Obrázek 39. Trať OKG - ROMIS

Zdroj: Diplomová práce, Implementace vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha, str. 27

Celková vzdálenost ortodromických úseků mezi navigačními body konvekční tratě má délku 236, 949 NM, oproti ortodromické vzdálenosti mezi vstupním bodem OKG a výstupním bodem ROMIS, kde je vzdálenost 228, 840 NM. Úspora uletěné vzdálenosti díky využití FRA je v tomto konkrétním případě rovna 8, 109 NM. [24]

V následující tabulce názorně vidíme rozdíly vzdáleností v NM mezi zavedenými konvekčními tratěmi v prostoru LKAA z roku 2017 a tratěmi DCT. [24]

název bodu	název bodu	trať(NM)	DCT(NM))	rozdl(NM)
LALES	VARIK	224,683	224,196	0,487
DESEN	VALPI	77,4083	76,6	0,808
HDO	ODNEM	166,888	164,918	1,970
DITIS	OKG	126,772	126,75	0,022
TOMTI	OKG	124,05	122,375	1,675
BEPAS	LAGAR	138,584	134,591	3,993
DITIS	VARIK	136,638	135,273	1,365
DITIS	RAPET	136,608	133,058	3,550
LALES	RAPET	224,74	223,791	0,949
MAKAL	OKG	229,982	229,006	0,976
LALES	OKG	220,047	218,934	1,113
OKG	LAGAR	123,517	121,357	2,16
LALES	HDO	179,676	178,831	0,845
TOMTI	NIRGO	133,167	127,967	5,2
DESEN	MIKOV	110,851	95,707	15,144
AGNAV	LAGAR	129,64	128,858	0,782
TOMTI	RUDAP	135,477	128,986	6,491
TOMTI	GOLOP	38,936	37,439	1,497
LOKVU	TOMTI	137,331	126,443	10,888
LOKVU	HDO	137,278	135,604	1,674
HDO	ROMIS	186,061	180,193	5,868
PADKA	VLM	134,127	125,269	8,858
PADKA	RAPET	230,893	229,427	1,466
UPEGU	RODUX	115,798	114,597	1,201
UPEGU	TOMTI	123,059	119,321	3,738
BEPAS	PADKA	198,157	196,374	1,783
BEPAS	TOMTI	142,038	141,215	0,823
LALES	RODUX	176,072	172,651	3,421
LALES	VEXIL	217,811	217,455	0,356
LALES	NIRGO	313,901	181,953	131,948
LALES	RUDAP	239,264	176,166	63,098
PADKA	VEXIL	237,191	218,836	18,355
PADKA	RUDAP	231,367	199,507	31,860
PADKA	NIRGO	229,057	203,376	25,681
OKG	MAKAL	265,308	229,006	36,302
OKG	ROMIS	236,949	228,84	8,109
MAKAL	RODUX	175,541	170,322	5,219
MAKAL	HDO	179,823	177,595	2,228
MAKAL	VARIK	235,355	232,705	2,650
MAKAL	RAPET	235,326	232,976	2,350
MAKAL	VEXIL	228,482	224,873	3,609
MAKAL	NIRGO	237,1	197,016	40,084
MAKAL	RUDAP	239,411	191,908	47,503
UPEGU	HDO	117,236	113,67	3,566
PADKA	VARIK	230,505	228,045	2,460

Obrázek 40. Porovnání vzdáleností pevných a DCT tratí

Zdroj: Diplomová práce, Implementace vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha, str. 29

6.3. Ekologické přínosy

V roce 2009 byla leteckým průmyslem uznána potřeba zabývat se změnou klimatu. Na tomto základě byl přijat soubor opatření dané problematiky a stanoveny cíle krátkodobého a dlouhodobého charakteru. Krátkodobým cílem bylo do roku 2020 snížit spotřebu paliva a emisí CO_2 ročně o 1,5%. Dlouhodobým cílem je do roku 2050 snížit produkci CO_2 o 50% oproti srovnatelným hodnotám z roku 2005. Výsledkem snahy je, že jsou dnešní letadla o 15% úspornější, než starší modely letadel, které se postupně nahrazují, nebo jsou modernizovány. [39]

Provoz letadel na letištích a v jejich okolí pojižděním, motorovými zkouškami, vzlety a přistáními snižují kvalitu ovzduší v okolí letišť. Škodlivými produkovanými plyny jsou oxidy dusíku NO_x , oxidy uhličitě CO_2 , oxidy síry SO_x , nespálené uhlovodíky HC, kouř a další částice. Koncentrace těchto škodlivých látek negativně ovlivňuje lidské zdraví a životní prostředí.

Hluková omezení jsou sice místního charakteru v okolí letišť, ale z důvodu hlukových omezení jsou voleny delší příletové a odletové tratě a volba stoupání, nebo klesání je podřízena hlukovým opatřením, které mají negativní dopad na množství spotřebovaného paliva při odletu a přiblížení. [30]

Prostor volných tratí ušetřil od roku 2014 více než 2,6 miliónu tun CO_2 , tedy přibližně 0,5% celkových emisí CO_2 produkovaných letectvím.

V roce 2018 vzrostl letový provoz v Evropě o 3,8% a počet emisí CO_2 o 5,2%. Předpokládá se, že do roku 2024 vzroste počet emisí CO_2 o 21% a NO_x o 16%. [39] [40]

V prostoru SES je cílem snížit 10% emisí snížením množství spáleného paliva v průměru o 250 - 500 kg na jeden let do roku 2035, což odpovídá snížení emisí CO_2 o 0,8 – 1,6 tun na jeden let. [30]

6.3.1. Názorný příklad

Pro příklad je volen let s celkovou spotřebou 4800 kg. Cílem je úspora paliva mezi 5-10 % tohoto množství, což odpovídá 250 – 500 kg. Jedná se o optimalizaci celé letové fáze od nahození motorů až po jejich vypnutí.

Optimalizace úspory paliva při pojiždění je cílena pro snížení v průměru o 30% oproti stávajícímu provozu. Jedná se o hodnotu mezi 38 - 75kg na jeden let. Optimalizace úspory

paliva při stoupání a klesání je cílena pro hodnotu snížení o 10%. Jedná se o 163 – 325 kg úspory paliva na jeden let. Pro let v hladině je cílené snížení spotřebovaného paliva o 2,5%, což odpovídá 50-100 kg úspory. [30]

6.4. Analýza přínosu RVSM pro životní prostředí

Po implementaci RVSM do evropského vzdušného prostoru v lednu 2002 byla vydána Environmental Studies vydaná EUROCONTROLEM, jako dodatečná analýza zaměřená na životní prostředí a jeho aspekty. Cílem studie bylo otestovat hypotézu přínosu implementace RVSM ke snížení vypouštěných emisí s nižším množstvím spáleného paliva.

Analýza porovnávala období 3 dnů před implementací RVSM a 3 dny po implementaci. Dále porovnávala 3 vybrané dny z července 2002 v porovnání s lednovými provozními údaji. Provozní data použité ve studii byly získána z radarových systémů poskytnuté EUROCONTROLEM. Výsledky získané z této studie podporují počáteční hypotézu o kladném přínosu RVSM pro životní prostředí. Od prvních dnů implementace RVSM v EU byl rostoucí trend přínosů pro životní prostředí. Přínosy rostly až do července. Od července jsou výsledky stabilní a lze konstatovat, že implementace RVSM vedla k významnému přínosu pro životní prostředí.

Celkové emise NO_x se snížily o 0,7 - 1% což představuje snížení o 3,5 tisíce tun ročně vypouštěného NO_x z letadel do atmosféry. Emise oxidu siřičitého se v důsledku zavedení RVSM snížily přibližně o 260 tun ročně. Celková spotřeba spáleného paliva, CO_2 a H_2O byla snížena o 1,6 - 2,3 %. Tyto hodnoty odpovídají přibližně 2% uspořené paliva a pozitivně se promítá do snížení nákladů leteckých společností působících v oblasti Evropy a využívající RVSM.

Úspora paliva činí až 310 000 tun paliva ročně. Přínos pro životní prostředí je ještě pozitivnější ve vyšších hladinách nad tropopauzou, nad výškou 8 – 10 km. Zatím co troposféra je charakteristická změnou výšky s teplotou, ve stratosféře je teplota se změnou výšky konstantní. Rozptyl vystupujících částic z motorů má nižší negativní dopad na životní prostředí, než v troposféře. Při využití těchto hladin se emise NO_x snižují až o 2,3 - 4,4% a spálené palivo je přímo úměrné snížení emisí CO_2 , SO_x a H_2O až o 3,5 - 5%. [41]

Závěrem lze konstatovat, že zavedení RVSM je velice přínosné. Do budoucna se zpráva odkazuje na zavádění FRA a další benefity v tomto směru.

7. Zhodnocení podmínek pro zavádění prostorové navigace v ČR

Kapitola 7 se zabývá rozvojem prostorové navigace v ČR, právním podkladem pro zavedení FRA, jeho postupnou implementací a problematikou s ní spojenou.

7.1. Přehled o vývoji navigace v ČR

Vzdušný prostor ČR je tvořen jedinou letovou informační oblastí FIR Praha. Prostor FIR Praha se rozkládá na celém území ČR ohraničeného hranicemi ČR a vertikálně je vymezen od země do FL 660.

Rozvoj prostorové navigace v České republice vychází z dokumentu vydaného Ministerstvem dopravy ČR: Koncepce letecké navigace České republiky v období do roku 2020 a vychází z dokumentu vydaným EUROCONTROLEM: Navigation Strategy and Implementation Plan.

Dokument je dělen do tří částí dle časových období. První část popisuje období mezi lety 2005-2010, druhá část období 2010-2015 a třetí část období 2015-2020. Je důležité poznamenat, že dokument byl vydán před více než 10 lety a některé údaje v něm uvedené, nemusejí odpovídat současnosti. Zejména se jedná o plánované zavádění a vyřazování z provozu jednotlivých typů zařízení a technologií. Lze obecně shrnout, že rozvoj prostorové navigace v ČR je založen zejména na využití GNSS a jeho postupné implementaci do všech fází letu. Tento trend následuje rozvoj prostorové navigace v evropských vzdušných prostorech a v celém světě. [42]

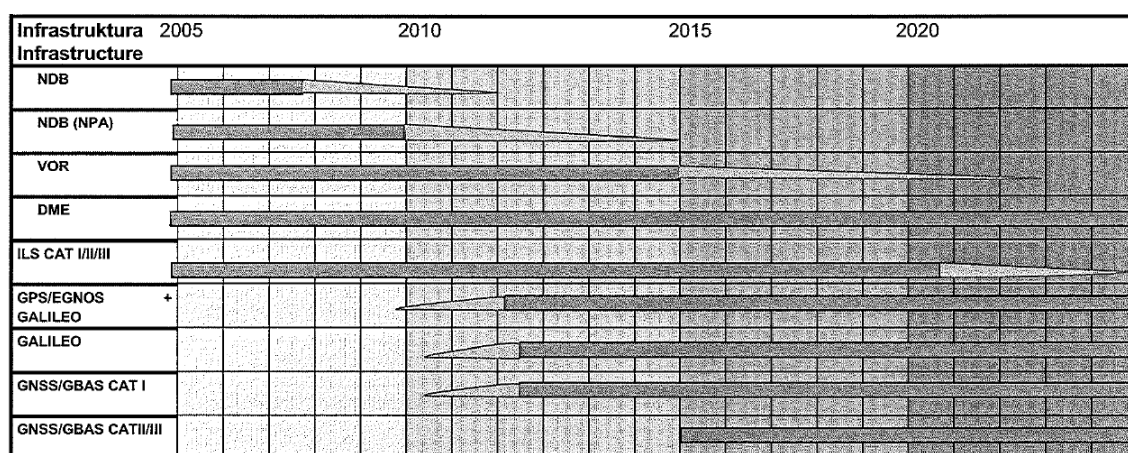
“V ČR se používají specifikace B-RNAV (základní RNAV) a P-RNAV (přesná RNAV). Požadavky na B-RNAV jsou shodné s požadavky na RNAV 5. Požadavky na specifikaci P-RNAV jsou z hlediska přesnosti stejné jako na RNAV 1, ale specifikace RNAV 1 neumožňuje pro prostorovou navigaci používat systémy založené na VOR/DME,, [28]

První popisované období rozvoje prostorové navigace v ČR do roku 2010 bylo založeno na využívání rozvíjejících se systémů GNSS pro traťové aplikace s přesností B-RNAV a P-RNAV pro letové aplikace v prostorech TMA, včetně využití pro SID a STAR. Byl předpoklad začít postupně využívat GNSS i pro fáze konečného přiblížení. Dále bylo rozhodnuto o trvalém provozu DME, jakož to záloha pro GNSS systémy. Naopak se zařízením NDB pro traťovou

navigaci se dále nepočítalo a bylo rozhodnuto, že s koncem jejich životností skončí a nebudou dále provozovány. Pro navigaci po trati bylo plánované využití B-RNAV s využitím VOR, DME a GNSS. DME má pokrývat celou ČR pro prostorovou navigaci B-RNAV a P-RNAV. Pro přesné přiblížení bylo plánováno nadále využívat systém ILS spolu se zachováním nepřesných přístrojových přiblížení NDB a VOR. Pro nepřesné přiblížení dle přístrojů s výškovým vedením bylo plánováno využití družicových systémů GPS a EGNOS.

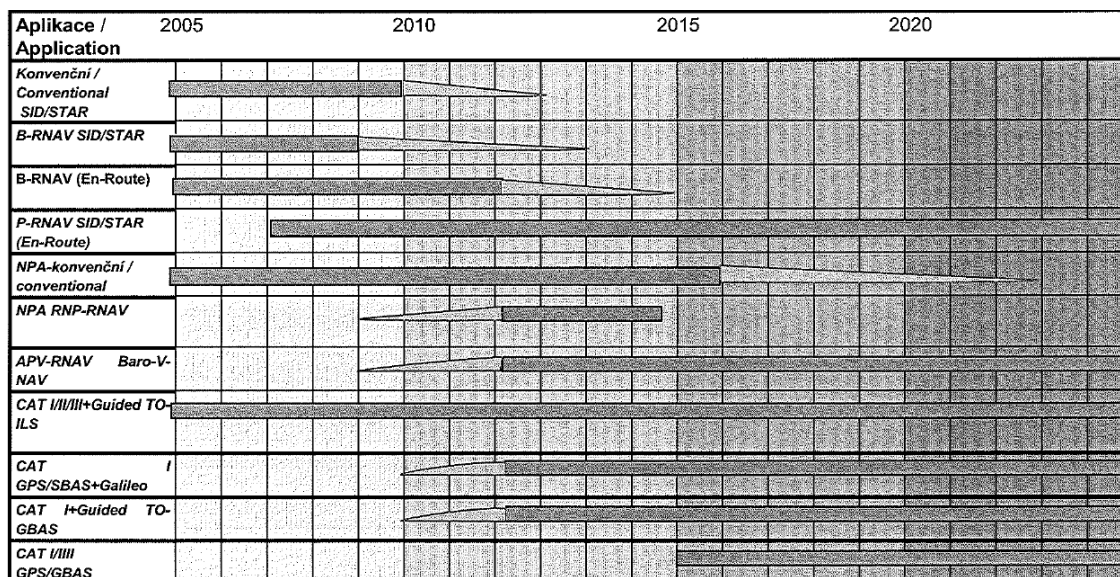
Pro druhé popisované období mezi lety 2010-2015 bylo plánováno zahájit využití systému GALILEO pro P-RNAV, případně RNP 1 pro konečné fáze přiblížení. Dále bylo pro toto období plánováno s končící životností bez náhrady zrušit všechny zařízení VOR. Pro traťové aplikace přejít z B-RNAV na P-RNAV. Pro přesná přístrojová přiblížení mělo zůstat využívání ILS a pro nepřesná přiblížení rozšíření postupů GNSS. Nepřesná přístrojová přiblížení s NDB měla být postupně rušena. Bylo plánováno postupné zavádění pro postupy přiblížení APV (BARO-VNAV, SBAS), případně RNP. Pro pohyb letadel po letištní ploše mělo být možné využít GNSS.

Pro třetí a poslední popisované období mezi lety 2015-2020 bylo plánováno plně využít systémy GPS, GLONASS, GALILEO a v plném rozsahu systémy SBAS (EGNOS) a GBAS pro traťové aplikace RNP založené na GNSS a DME/DME. Pro přesné přiblížení zavedení systému MLS na mezinárodním letišti v Praze. Dále bylo plánováno zavádění GBAS CAT II/III. Nepřesná přiblížení měla být nahrazena postupy APV a zavedení plného využití GNSS pro vedení letadel po letištní ploše. [42]



Obrázek 41. Navigační koncepce ČR do roku 2020 - Infrastruktura

Zdroj: <https://www.icao.int/safety/pbn/PBNStatePlans/Czech%20Republic%20PBN%20Implementation%20Plan.pdf>



Obrázek 42. Navigační koncepce ČR do roku 2020 - Aplikace

Zdroj: <https://www.icao.int/safety/pbn/PBNStatePlans/Czech%20Republic%20PBN%20Implementation%20Plan.pdf>

Závěrem dokument shrnuje tendenci zavádění nových technologií pro využití prostorové navigace v ČR. Je řečeno, že rozvoj navigace v ČR je podmíněn chválením požadavků na GNSS, tedy požadavků na spolehlivost, přesnost, integritu a dostupnost. Po splnění všech těchto kritérií je plánováno vydání příslušných provozně technických předpisů pro implementaci výše zmíněných technologií. Po prokazatelném schválení GNSS je předpoklad ukončení jednotlivých pozemních radionavigačních traťových zařízení s ohledem na jejich živostnost, vyjma DME. [42]

V současnosti je v ČR využíváno pro traťové aplikace prostorové navigace B-RNAV ekvivalentní s RNAV 5. Pro lety v TMA P-RNAV blízké k PBN RNAV 1 a RNAV 2. Ve vzdušném prostoru ČR je využíváno RVSM. [17] [22]

7.2. Právní podklad FRAPRA

Koncept FRAPRA vychází z nařízení Komise (EU) č. 716/2014 – PCP, ATM Master Plan, Network Strategic Plan, Network Operation Plan a FAB CE Airspace Plan vycházejícího z FAB CE x-Border Free Route Project. [43]

Pro ČR je zásadní snaha plnit projekty SES, SESAR, FAB CE a FRAPRA. Projekty reagují na zvyšující se poptávku po letecké dopravě. Všechny tyto projekty mají, nebo v nejbližších letech budou mít zásadní vliv na strukturu a uspořádání evropského vzdušného prostoru ČR. Významný projekt v rámci uspořádání evropského vzdušného prostoru vydaným

EUROCONTROLEM je ASM Handbook Guidelines for Airspace Management v rámci European Route Network Improvement Plan. [25]

7.2.1. ATM Master plan

SES ATM Research, je výzkumný program EU s primárním cílem vývoje nových principů navigace založeného na poskytování ATM v časovém horizontu mezi lety 2020 - 2025. Dokument pojednává o plánované činnosti, odůvodnění a časovém období implementace včetně podrobného popisu. [24]

7.2.2. Nařízení komise EU 716/2014 – Pilot Common Project

Nařízení pojednává o zřízení pilotního společného projektu pro podporu provádění evropského hlavního plánu uspořádání letového provozu. Definuje funkce ATM, které mají být stanoveny včas, koordinovaně a synchronizovaně implementovány za dosažením změn plynoucích z hlavního evropského plánu ATM.

Projekt zahrnuje rozšířené řízení příletů a navigace založené na výkonnosti v koncových řízených oblastech TMA s vysokou hustotou letového provozu, integrací a propustností letišť, flexibilního uspořádání vzdušného prostoru, volných tratí a sdílení informací o dráze letu. [24]

7.2.3. FAB CE Airspace plan

FAB CE je označení Functional Airspace Block Central Europe, tedy Středoevropského funkčního bloku vzdušného prostoru. Skládá se z 63 sektorů a 8 oblastních středisek řízení, sledujících letový provoz na území o rozloze 529 497 km^2 . Projekt je výsledkem spolupráce mezi 7. státy. České republiky, Slovenské republiky, Rakouska, Maďarska, Slovinska, Chorvatska a Bosny a Hercegoviny. Státy v roce 2008 schválili FAB CE Feasibility Study Master Plan, popisující implementaci FAB CE za účelem zdokonalení a flexibilního rozvoje činností traťových letových provozních služeb. Obecné koordinační podmínky a struktura mezi státy FAB CE, příslušnými vnitrostátními orgány a armádou jsou popsány v dokumentu Memorandum of Understanding, podepsaným v roce 2009. Podpisem započala přípravná fáze ukončena 5.5.2010, na kterou navazuje následující fáze implementace.

FAB CE je důležitou součástí projektu SES s cílem vylepšit standardy bezpečnosti ve vzdušném prostoru a kvalitu poskytovaných letových služeb za účelem efektivního využívání evropského vzdušného prostoru. Koncepce umožnila urychlení toku letového provozu po celém světě. [24] [38]

Plánovaný vzdušný blok FAB CE, včetně sedmi států, které mají být jeho součástí, vidíme na obrázku číslo 43.



Obrázek 43. FAB CE

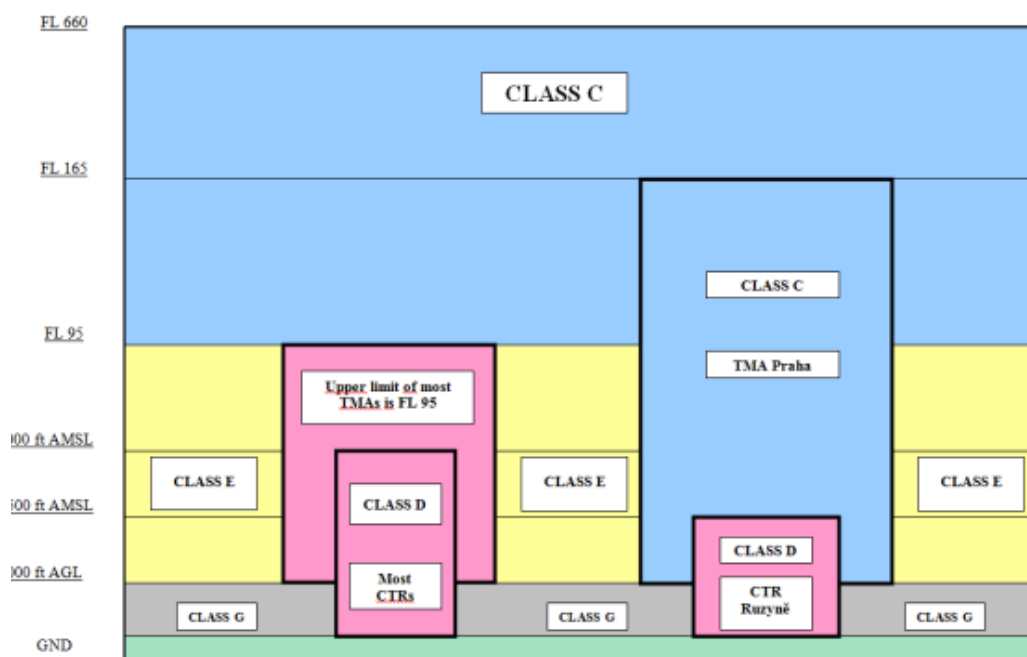
Zdroj: Diplomová práce, Restrukturalizace vzdušného prostoru ČR, str. 24

7.3. Implementace FRAPRA

Prostor volných tratí v oblasti FIR Praha je nazýván FRAPRA (Free Route Aispace Prague). Horizontální hranice FRAPRA respektuje hranice ČR a vertikálně je prostor zavedený mezi hladinami FL 165 až FL 660. Vertikální hranice jednotlivých přímých tratí DCT se může lišit. [23]

Nejnižší použitelná letová hladina volných tratí v LKAA je FL 165, což je totožné s vrcholem prostorů TMA. V oblasti FRAPRA musí být plánovaný let DCT v aktivním čase. V případě zpoždění, nebo změny času je nutné znovu podat letový plán, který může být změněn dle aktuálních podmínek. [24]

Rozdělení vzdušného prostoru ČR, včetně prostoru třídy C, která je stěžejní pro implementaci FRA zobrazuje obrázek číslo 44.



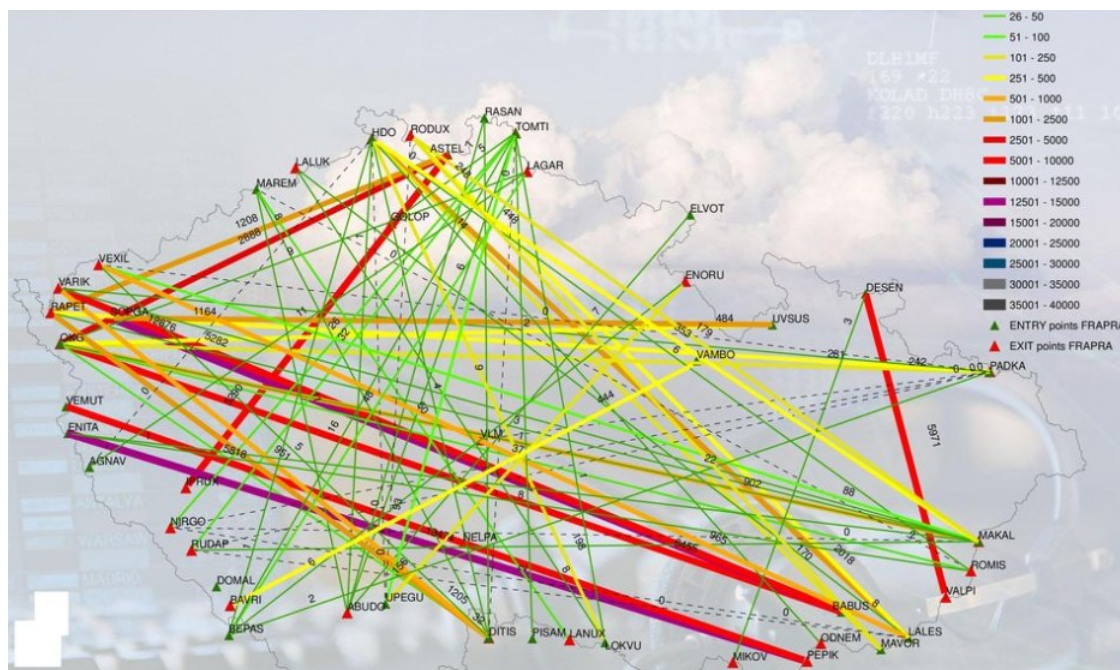
Obrázek 44. Rozdělení vzdušného prostoru ČR

Zdroj: [https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/reports/LSSIP2017 Released Czech%20Republic.pdf](https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/reports/LSSIP2017%20Released%20Czech%20Republic.pdf)

Implementace FRAPRA probíhá ve třech fázích. První fáze nabyla platnosti 2.5.2013. V této fázi došlo k pozvolnému přechodu z pevných tratí na tratě přímé. Publikované přímé tratě jsou aktivní jen ve stanovenou dobu a v určitých hladinách. Většinou mezi 00:00 – 06:00 LMT. První fáze je dále dělena do dvou etap. První etapa pokrývala postupné zavádění časově omezených DCT, kde to je provozně výhodné. Druhou etapou je přechod na tratě FR (Free Route) s publikovanými omezeními. Jde o volně plánované tratě mezi publikovanými vstupními a výstupními body při současném respektování provozních omezení. V tomto období jsou dostupné oba typy tratí. Jak pevné, tak FR. Ve druhé fázi implementace FRAPRA dochází 5.2.2015 u většiny publikovaných volných tratí ke změně časové působnosti ze stanoveného intervalu na nepřetržitý provoz H24. Nadále zůstávají k využití speciální DCT noční tratě. Počet přímých tratí zůstává stejný, nebo stoupá. Všechny volné tratě jsou uvedené v AIP RAD Appendix 4. Třetí a poslední fáze byla plánována k ostrému provozu koncem roku 2019, či v blízké době po něm. Cílem tohoto kroku je plnohodnotné zavedení FRAPRA bez časového a hladinového omezení, včetně implementace business trajektorií a prostorů FAB CE x-Border (Free Route Project). Dále je předpoklad zavedení FRA v dalších evropských státech a maximalizování výhod koncepce volných tratí.

[24] [43]

Na následujícím obrázku lze vidět využití FRAPRA mezi měsíci leden – září v roce 2017. Nejvýznamnější tratě DCT jsou vyznačeny modře a červeně. V tomto období bylo využití přímých tratí v 18% z celkového počtu všech letů. Vyjádřeno v číslech, bylo využití ve 108 000 případech. Je očekáván další významný nárůst v příštích letech. [25]



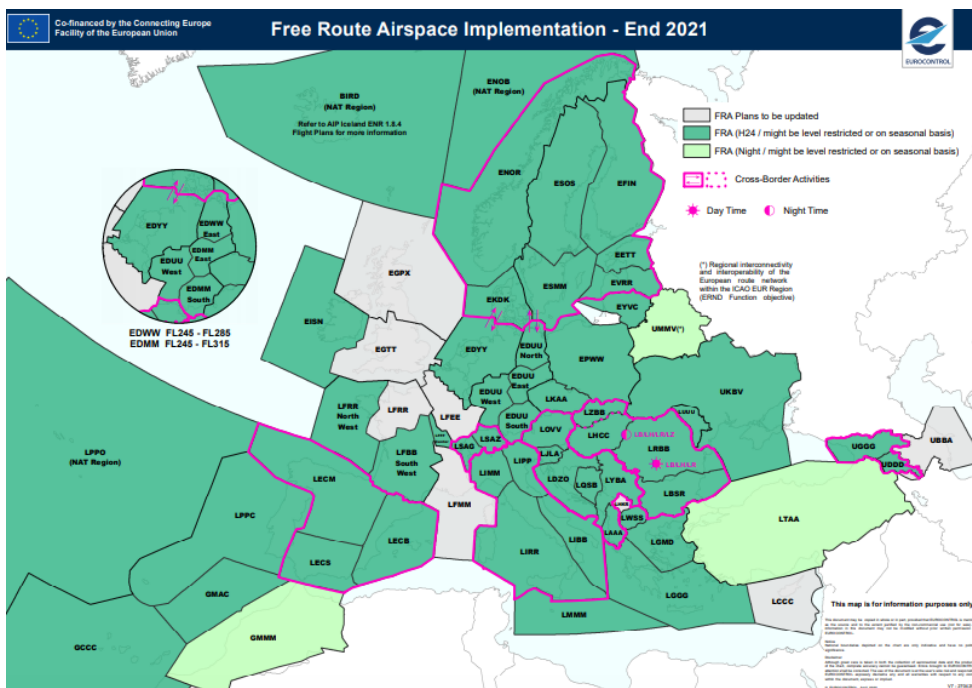
Obrázek 45. Využití DCT tratí v LKAA ve vybraných měsících roku 2017

Zdroj: <https://slideplayer.cz/slide/13142877/>, str. 6

Implementace FRAPRA je aktuálně mírně opožděna a v přechodné fázi, kdy FRAPRA je možné využít H24 publikované přímé tratě a noční DCT tratě v rozmezí 00:00 – 06:00 LMT, tedy 23:00 (22:00) – 05:00 (04:00) UTC. V době aktivace FRAPRA mají jednotlivé lety možnost volby, zda využijí možnost přímých tratí DCT, nebo klasických publikovaných tratí ATS. Celý let v oblasti FRAPRA musí být proveden ovšem pouze jednou z nabízených možností. Využití FRAPRA je umožněno pouze tranzitním letům, tedy lety do a z ČR musejí využít klasických publikovaných tratí ATS v prostoru LKAA. Tranzitní lety musejí při využití FRAPRA použít pouze definované vstupní a výstupní body.

Třetí a finální fáze je odhadována pro plný provoz na 2.12.2021, kdy by měla být celá oblast FRAPRA plně implementována novou koncepcí, jako je tomu u většiny našich sousedů. [24] [25] [27]

Na následujícím obrázku číslo 46 můžeme vidět implementaci FRA v Evropě do konce roku 2021.



Obrázek 46. Implementace FRA v prostorech Evropy do konce roku 2020

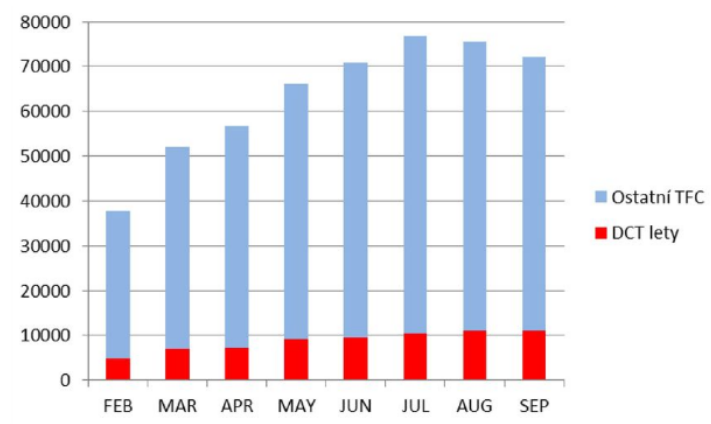
Zdroj: <https://www.eurocontrol.int/publication/free-route-airspace-fra-implementation-projection-charts>

7.4. Úspory plynoucí zavedením FRA

Z dat letových plánů z roku 2012 byla provedena analýza celkem 13 163 letů v oblasti FIR Praha. Analýza je založena na porovnání uskutečněných letů po pevných tratích dle letových plánů z roku 2012 v porovnání s lety, které by volili přímé tratě při možnosti využití FRA. Výsledky analýzy uvádějí, že všechny tyto lety v prostoru LKAA by při využití přímých tratí zkrátily celkovou nalétanou vzdálenost o 32 229,4 NM. Celková doba letů by byla zkrácena o 71 hodin a 24 minut. Vyjádřeno v množství paliva, letečtí dopravci by ušetřili 323 057 kg paliva s celkovou finanční úsporou 6,6 miliónu Kč. Po započítání nákladů na údržbu spojenou s nalétanou dobou letadel, by celková úspora činila 6,817 miliónu Kč. Výsledný pozitivní efekt není pouze v oblasti finančních úspor leteckých dopravců, ale vede i k vyšší šetrnosti k životnímu prostředí. Při spalování leteckého paliva leteckými motory jsou do atmosféry produkovány emisní plyny, jako oxid uhličitý a oxidy dusíku. Tyto plyny jsou spojovány s negativním dopadem na životní prostředí, jako je globální oteplování a kyselý déšť. Uspořené palivo je přímo úměrné vyprodukovanému množství výstupních plynů.

Z analýzy vyplývá, že za rok 2012 by došlo k úspore vyprodukovaného oxidu uhličitého o viac ako 1,017 miliónu kg a viac ako 2 650 kg oxidu dusíku. [23]

V roce 2015 byla vydána statistika letů v LKAA využívajících DCT tratě v porovnání s ostatními užívanými tratěmi. Statistika byla zaměřena na období mezi měsíci únor - září roku 2015. Z grafu na obrázku číslo 47 lze přehledně vidět podíl jednotlivých letů. Ve statistice jsou zahrnuty všechny lety v popisovaném období. [43]



Obrázek 47. Podíl DCT letů na celkovém provozu v období únor – září 2015
Zdroj: <https://slideplayer.cz/slide/13142877/>, str. 8

7.5. Koncept FRA z hlediska technické realizovatelnosti

Realizovatelnost konceptu je úzce spjatá s již užívanými a v blízké budoucnosti dostupnými technologiemi. Hlavní myšlenkou splňující požadavky a potřeby nového konceptu FRA je využití automatického závislého přehledu ADS-B. Filozofie je založena na určení přesné polohy letadel a přesné výšce díky využití sofistikovaných navigačních systému na palubách letadel, jako jsou GNSS, DME/DME, IRS, ILS, MLS.

Systém zajišťující detekci konfliktních provozů bude mít za úkol neustále předvídat budoucí trajektorii okolních provozů v aktuálním čase. Systém musí pracovat s daty o daném letadle a okolních letadlech, jako je poloha (horizontální i vertikální souřadnice), rychlost, identifikace letadla a informace o zamýšlené trati. V případě detekce potencionální hrozby vyšle posádce příslušnou varovnou informaci. V případě systému ASAS vybaveným systémem detekce a konfliktních situací, systém sám vypočte nejvhodnější trajektorie pro vyhnutí se provozu a prostřednictvím FMS dá posádce možnost volby z těchto nabízených trajektorií. Pro tento koncept zůstává zachován i systém TCAS, jako nezávislá bezpečnostní záloha. Dalším z cílů systému je plně automatizovat celou fázi letu. Člověk by se měl v tomto systému stavět do záložní role. [13]

Nevýhodou FRA je vznik slepých míst, tedy míst v celých sektorech, kde mohou vznikat konfliktní situace. [26]

Závěr

V úvodu práce byly stanoveny jednotlivé cíle bakalářské práce zabývající se problematikou prostorové navigace.

První část stručně vysvětlila základy k pochopení letecké navigace a navigačních zařízení, včetně družicových systémů.

Ve druhé části byl kladen důraz na problematiku prostorové navigace založené na výkonnosti (dále PBN) a vysvětlení pojmů navigační přesnosti a specifikace. V neposlední řadě bylo provedeno stručné shrnutí jednotlivých navigačních specifikací PBN. Následně byla podrobně probrána problematika prostoru volných tratí (dále FRA), která byla jádrem celé práce. Pozornost byla věnována právním podkladům, implementaci v evropském vzdušném prostoru a výhod i nevýhod celého konceptu. Závěrem druhé části byly stručně shrnuty informace o aktuálním využití prostorové navigace v Evropě a ve světě.

Poslední část je zaměřena na podrobnější problematiku prostorové navigace. V této části byly shrnuty obecné ekonomické a ekologické výhody plynoucí z FRA, včetně názorných příkladů. Závěrem této části a poslední kapitolou bakalářské práce bylo zhodnocení podmínek zavádění FRA v oblasti České republiky. V této kapitole byl podrobně probrán předpokládaný vývoj navigace v ČR, právní podklad FRAPRA, jeho implementace a plynoucí úspory včetně analýzy a statistiky letů využívajících tuto oblast.

Závěrem bych chtěl poznamenat, že problematika prostorové navigace je do jisté míry nepřehledná. Příchodem konceptu PBN mají některé pojmy stejné označení. Jde například o pojem RNAV. Jedná se jak o zkratku prostorové navigace, tak o navigační specifikaci konceptu PBN. Dalším pojmem je RNP. V prvním případě se jedná o požadovanou navigační výkonnost, ve druhém případě jde opět o navigační specifikaci konceptu PBN. Při tvorbě práce jsem měl z počátku značné problémy v orientaci v uvedených pojmech.

Naopak o prostoru FRA jsem měl před vypracováním této bakalářské práce pouze minimum informací. Věděl jsem pouze, že existuje a je využívána pro přímé lety mezi hraničními body jednotlivých států, mimo konvekční tratě ATS. Po dokončení bakalářské práce jsem do problematiky FRA pronikl poměrně hluboce a musím zhodnotit, že po plné implementaci FRA ve všech evropských prostorech bude její benefit poměrně silný. Uspoří značnou část financí leteckým společnostem a bude mnohem šetrnější k životnímu prostředí.

Studování dané problematiky mi ztěžovaly neaktuální informace, zejména plány implementací v jednotlivých státech, které se často odkládají do příštích let. V dnešní době je FRA dostupný jak v plné, tak přechodné fázi ve třech čtvrtinách Evropy.

Rád bych poděkoval vedoucí Ing. Lence Kontrikové za cenné rady a elektronické konzultace v době, kdy byl v ČR vyhlášen nouzový stav.

Poděkování patří celé mé rodině za podporu při tvorbě bakalářské práce.

Seznam použité literatury

Tištěné zdroje

- [1] STAVOVČÍK, Boleslav, KULČÁK, Ludvík, ed. *Obecná navigace (061 00): Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 978-80-7204-576-1.
- [2] VOSECKÝ, Slavomír, KULČÁK, Ludvík, ed. *Radionavigace (062 00): Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-764-2.
- [3] ČIŽMÁR, Jan a Miroslav TRUBAČ, KULČÁK, Ludvík, ed. *Přístrojové vybavení (022 00): Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 80-720-4445-1.
- [4] SOLDÁN, Vladimír. *Letové postupy a provoz letadel*. Jeneč: Letecká informační služba Řízení letového provozu České republiky, 2014. ISBN 978-80-239-8595-5.

Elektronické zdroje

- [5] POŘICKÝ, Ivo. VOR (VŠESMĚROVÝ RADIOMAJÁK). In: *IVAO: CZECH DIVISION* [online]. IVAO, ©2000-2020, 5.2.2012. Dostupné z: http://www.iviao.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=262&Itemid=163
- [6] Q kódy v radioprovozu. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Q_k%C3%B3dy_v_radioprovozu&oldid=18470425

- [7] 12. Volba zobrazení. In: *Matematická kartografie* [online]. Dostupné z: http://old.gis.zcu.cz/studium/mk2/multimedialni_texty/index_soubory/hlavni_soubory/volba.html
- [8] Transponder: Odpovídač, Odpovídač sekundárního radaru. In: *Pilotní.cz: Průvodce pilotním výcvikem* [online]. ©2013-2020. Dostupné z: <https://www.pilotni.cz/transponder/>
- [9] KOMAR, Viktor. ODPOVÍDAČ SSR. In: *IVAO: CZECH DIVISION* [online]. IVAO, ©2000-2020, 14.7.2011. Dostupné z: http://www.ivao.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=125:odpovida&catid=83:zakladni-informace&Itemid=148
- [10] ADS-B. In: *Moderní letecká navigace* [online]. Dostupné z: <http://www.airnav.eu/index.php?stranka=adsb>
- [11] Letecký antikolizní systém TCAS / ACAS. In: *KMITOCTY.CZ: ORIGINAL OK1ZOO'S RADIOMONITORING WEBSITE* [online]. ©2007-2019. Dostupné z: <https://kmitocty.cz/?p=1979>
- [12] DATALINKY. In: *Moderní letecká navigace* [online]. Dostupné z: <http://www.airnav.eu/index.php?stranka=datalink>
- [13] POLÁŠ, Přemysl. *APLIKACE KONCEPTU FREE FLIGHT V RÁMCI EVROPSKÉHO VZDUŠNÉHO PROSTORU* [online]. Brno, 2012. Dostupné také z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/7775/final-thesis.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Jaroslav Jonák.
- [14] Evropský navigační systém Galileo po týdenní poruše opět funguje. In: Česká televize: ČT24 [online]. Česká televize, ©1996-2020, 2019. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2872802-evropsky-navigacni-system-galileo-po-tydenni-poruse-opet-funguje>
- [15] GNSS. In: *Moderní letecká navigace* [online]. Dostupné z: <http://www.airnav.eu/index.php?stranka=gnss>

- [16] Navigační systém Galileo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikipedie: Otevřená encyklopedie, 2020. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Naviga%C4%8Dn%C3%AD_syst%C3%A9m_Galileo&oldid=18455577
- [17] VESELÝ, Petr. *ZAVEDENÍ POSTUPŮ NAVIGACE PODLE POŽADAVKŮ PBN (PERFORMANCE BASED NAVIGATION) NA REGIONÁLNÍM LETIŠTI* [online]. Brno, 2015. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=96519. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Dušan Kevický.
- [18] *Introducing Performance Based Navigation (PBN) and Advanced RNP (A-RNP)* [online]. EUROCONTROL, 2013. Dostupné také z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/2013-introducing-pbn-a-rnp.pdf>
- [19] Performance based navigation. In: *EUROCONTROL: Supporting European Aviation* [online]. EUROCONTROL. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/concept/performance-based-navigation>
- [20] *European Airspace Concept Handbook for PBN Implementation: Edition 3.0* [online]. EUROCONTROL, 2013. Dostupné také z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/handbook-pbn-implement-2013-ed-3a.pdf>
- [21] BATELKA, Marek. *CÍLE, METODY A TECHNOLOGIE PROSTOROVÉ NAVIGACE* [online]. Brno, 2009. Dostupné také z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/13551/final-thesis.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Slavomír Vosecký.

- [22] HODINKA, Jan. *METODY, TECHNICKÉ PROSTŘEDKY A PROCEDURY PLÁNOVÁNÍ A NAVIGACE LETU PO VOLNÝCH TRATÍCH V PODMÍNKÁCH RVSM* [online]. Brno, 2008. Dostupné také z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/3141/final-thesis.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Slavomír Vosecký.
- [23] MIKULENKA, Jiří. *Vzdušný prostor volných tratí v České republice* [online]. Praha, 2013. Dostupné také z: <https://vskp.vse.cz/id/1328424>. Bakalářská práce. Vysoká škola ekonomická v Praze. Vedoucí práce Lubomír Zelený.
- [24] SKÁLOVÁ, Martina. *Implementace vzdušného prostoru volných tratí ve FIR Praha* [online]. Praha, 2016. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70000/F6-DP-2017-Skalova-Martina-DP.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Jakub Kraus.
- [25] MALÝ, Michael. *Restrukturalizace vzdušného prostoru ČR* [online]. Praha, 2018. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/79906/F6-DP-2018-Maly-Michael-Restrukturalizace%20vzdusneho%20prostoru%20CR.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Petr Daňko, Stanislav Szabo.
- [26] KOZÁKOVÁ, Zuzana. *ZMĚNA PROVOZNÍCH POSTUPŮ PŘI PŘECHODU NA FREE ROUTE AIRSPACE* [online]. Praha, 2015. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65712/F6-BP-2016-Kozakova-Zuzana-Kozakova%20Zuzana%20-%20Zmena%20provoznich%20postupu%20pri%20prechodu%20na%20FRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Jakub Kraus.

- [27] Free Route Airspace (FRA) implementation projection charts.
In: *EUROCONTROL: Supporting European Aviation* [online]. EUROCONTROL.
Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publication/free-route-airspace-fra-implementation-projection-charts>
- [28] ČESKÁ REPUBLIKA. *Letecký předpis L 11: Letové provozní služby*.
In: Ministerstvo dopravy ČR, Úřad pro civilní letectví, 2018. Dostupné také z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-11/data/effective/hl2.pdf>
- [29] Vzdušný prostor České republiky. In: *VFR příručka: Česká republika* [online]. Řízení letového provozu České republiky. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/enr_1_cz.html
- [30] ENVIRONMENT: BENEFITS. In: *SESAR: Joint undertaking* [online]. SESARJU, ©2020. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/approach/environment>
- [31] Evropská integrace ATM: SES. In: *Řízení letového provozu České republiky* [online]. Řízení letového provozu České republiky. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/spolecnost/tisk/Stranky/Evropsk%C3%A1IntegraceATM.aspx>
- [32] Společný podnik SESAR. In: *Oficiální internetová stránka Evropské unie: Evropská unie* [online]. Evropská unie, 2020, 2019. Dostupné z: https://europa.eu/european-union/about-eu/agencies/sesar_cs#pro-koho-znamen%C3%A1-p%C5%99%C3%ADnos
- [33] Evropská integrace ATM: SESAR. In: *Řízení letového provozu České republiky* [online]. Řízení letového provozu České republiky. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/spolecnost/tisk/Stranky/Evropsk%C3%A1IntegraceATM.aspx>
- [34] Free route airspace: Giving users the freedom to plan a route in Europe's airspace. In: *EUROCONTROL: Supporting European Aviation* [online]. EUROCONTROL. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/concept/free-route-airspace>

- [35] *SESAR SOLUTIONS CATALOGUE 2019* [online]. 2019. Luxembourg: SESAR, 2019, 156 s. Third edition. DOI: 10.2829/998701. ISBN 978-92-9216-108-8. MG-07-18-083-EN-N. Dostupné také z:
[https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/SESAR Solutions Catalogue 2019_web.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/SESAR_Solutions_Catalogue_2019_web.pdf)
- [36] BUCUROIU, Razvan. *A Free Route Airspace for Europe* [online]. EUROCONTROL. Dostupné také z:
<https://www.worldatmcongress.org/Uploads/2017%20Presentations/2%20FREE%20ROUTE-Razvan.pdf>
- [37] Free route - more choice, less fuel. In: *SESAR: Joint undertaking* [online]. SESARJU, ©2020, 2019. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/node/689>
- [38] Projekt FAB CE. In: *Řízení letového provozu České republiky* [online]. Řízení letového provozu České republiky. Dostupné z:
<http://www.rlp.cz/spolecnost/profil/Stranky/projektFABCE.aspx>
- [39] *European Aviation Environmental Report 2019* [online]. European Environment Agency, 2019. ISBN 978-92-9210-214-2. Dostupné také z:
<https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-aviation-environmental-report.pdf>
- [40] Environment. In: *EUROCONTROL: Supporting European Aviation* [online]. EUROCONTROL. Dostupné z:
<https://www.eurocontrol.int/environment#about>
- [41] JELINEK, Frank. Analysis of the Environmental Benefit of RVSM. In: *EUROCONTROL: Supporting European Aviation* [online]. EUROCONTROL. Dostupné z:
https://www.eurocontrol.fr/Newsletter/2003/March/Environment_RVSM/Environmental_Benefits_of_RVSM_v0_5.htm

- [42] ČESKÁ REPUBLIKA. *Czech Republic PBN Implementation Plan*. In: . Praha: Czech Republic Ministry of Transport, Air Navigation of the Czech Republic, 2010. Dostupné také z:
<https://www.icao.int/safety/pbn/PBNStatePlans/Czech%20Republic%20PBN%20Implementation%20Plan.pdf>
- [43] VORÁČEK, Václav. Free Route Airspace Prague: H24 Direct Routing. In: *SliderPlayer* [online]. SliderPlayer, ©2020, 2015. Dostupné z:
<https://slideplayer.cz/slide/13142877/>